



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROYECTO FINAL DE CARRERA

**TÍTULO:**

**Sistema para la medida de parámetros de la columna de agua**

**AUTORES:**

Rubén Muñoz Cortés y José Antonio Ropero Vergara

**TITULACIÓN:**

Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Especialidad  
Sistemas Electrónicos

**DIRECTOR:**

Joaquín Del Rio Fernández

**DEPARTAMENTO:**

Ingeniería Electrónica

**FECHA:** 22 / 09 / 2015



**TÍTULO:**

**Sistema para la medida de parámetros de la columna de agua**

**APELLIDOS:** Muñoz Cortés

**NOMBRE:** Rubén

**APELLIDOS:** Ropero Vergara

**NOMBRE:** José Antonio

**TITULACIÓN:** Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones

**ESPECIALIDAD:** Sistemas Electrónicos

**PLAN:** 95

**DIRECTOR:** Joaquín Del Rio Fernández

**DEPARTAMENTO:** Ingeniería Electrónica

**QUALIFICACIÓN DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENTE**

Simó Mezquita, Ester

**SECRETARIO**

Arno Macia, Elisabet

**VOCAL**

Perat Benavides, Jose Ignacio

**FECHA DE LECTURA:** 22 / 09 / 2015

**Este Proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales:** ☐ Sí ☒ No

**RESUMEN:**

Se pretende diseñar y montar un sistema prototipo basado en la plataforma LEGO MINDSTORMS, capaz de realizar medidas de temperatura, luminosidad y profundidad en la columna de agua hasta una profundidad de 30m

El sistema estará formado por los sensores necesarios para realizar las medidas, el sistema mecánico para permitir largar y recuperar los sensores durante la columna de agua y el sistema electrónico encargado de la adquisición y procesado de los datos. El sistema también incorporará una aplicación software encargada del registro y visualización de los datos.

Se va a desarrollar un entorno gráfico donde el usuario es capaz de introducir parámetros para realizar las mediciones.

**Palabras clave (máximo 10):**

Lego Mindstorms NXT	LabVIEW	Columna de agua	Temperatura
Iluminancia	Presión	Interfaz	Robot



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
AGRADECIMIENTOS.....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. ORIGEN Y MOTIVACIÓN .....	10
1.2. OBJETIVOS.....	10
1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA .....	11
<b>2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>13</b>
<b>3. PLATAFORMAS ROBÓTICAS PARA LA DOCENCIA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. LEGO MINDSTORMS.....</b>	<b>17</b>
4.1. HISTORIA .....	17
4.2. LEGO NXT .....	18
4.3. BLOQUE NXT.....	19
4.4. HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN.....	21
4.4.1. NXT-G .....	21
4.4.2. LABVIEW .....	22
4.5. NXT I/O .....	24
4.5.1. PUERTOS DE ENTRADA.....	24
4.5.1.1. SENSORES PROPIOS NXT .....	24
4.5.1.2. SENSORES EXTERNOS AL ENTORNO LEGO MINDSTORMS .....	26
4.5.2. PUERTOS DE SALIDA.....	28
<b>5. DISEÑO Y ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES .....</b>	<b>31</b>
5.1. SENSOR DE TEMPERATURA .....	31
5.2. SENSOR DE LUZ .....	33
5.3. SENSOR DE PRESIÓN .....	36
5.4. ALIMENTACIÓN .....	37
<b>6. DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA .....</b>	<b>40</b>
6.1. SOFTWARE DE DISEÑO DE PCB. ALTIUM DESIGNER.....	40
6.2. SONDA DE MEDIDA .....	41
6.2.1. DISEÑO PCB SONDA .....	41
6.2.2. MONTAJE.....	43
6.2.3. ENRESINADO.....	44
6.2.4. CALIBRACIÓN Y COMPROBACIÓN .....	45
6.2.4.1. CALIBRACIÓN DEL SENSOR .....	45
6.2.4.2. COMPROBACIÓN SENSOR DE TEMPERATURA .....	48
6.3. PLACA DE CONEXIÓN SONDA-NXT .....	49
6.3.1. DISEÑO PCB CONEXIÓN SONDA-NXT .....	49
6.3.2. MONTAJE.....	50
6.4. SISTEMA MECÁNICO DE ELEVACIÓN .....	51
6.5. FABRICACIÓN DE COLUMNA DE AGUA PARA EL ENSAYO.....	54
<b>7. INSTRUMENTO VIRTUAL .....</b>	<b>55</b>
7.1. PANEL FRONTAL.....	55
7.2. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	56
7.2.1. MÁQUINA DE ESTADOS .....	59

8.	RESULTADOS DEL ENSAYO .....	63
9.	COSTE DEL SISTEMA .....	65
10.	CONCLUSIONES Y VALORACIÓN FINAL .....	66
BIBLIOGRAFÍA.....		67

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-2 SONDAS MULTIPARAMÉTRICAS HYDROLAB HL4 Y YSI600QS .....	14
FIGURA 4-6 NXT-G .....	22
FIGURA 4-7 PANEL FRONTAL A LA IZQUIERDA Y DIAGRAMA DE BLOQUES A LA DERECHA .....	23
FIGURA 4-8 SENSORES LEGO .....	25
FIGURA 5-3 MONTAJE DE CALIBRACIÓN .....	32
FIGURA 5-5 SENSIBILIDAD FOTODIODO VTB8440 E IMAGEN .....	34
FIGURA 5-11 PINES Y ESQUEMAS DEL LM7805 A LA IZQUIERDA Y DEL LM7905 A LA DERECHA .....	38
FIGURA 5-12 MONTAJE CIRCUITO COMPLETO EN PROTOBOARD .....	39
FIGURA 6-1 ENTORNO DE DISEÑO ALTUM DESIGNER SUMMER 08 .....	40
FIGURA 6-2 ESQUEMÁTICO COMPLETO .....	41
FIGURA 6-3 PCB Sonda DISEÑO CARA INFERIOR Y FOTOLITO .....	42
FIGURA 6-4 PCB Sonda LISTA PARA TALADRAR .....	43
FIGURA 6-5 COMPONENTES SOLADOS EN LA PCB .....	43
FIGURA 6-6 DESCRIPCIÓN PCB Sonda .....	44
FIGURA 6-7 Sonda ENRESINADA .....	45
FIGURA 6-8 LUXÓMETRO TESTO545 .....	46
FIGURA 6-9 PRUEBAS CON LUXÓMETRO Y FOCO REGULABLE .....	46
FIGURA 6-10 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN CON RESINA .....	46
FIGURA 6-11 MEDIDAS DE LUZ ARTIFICIAL VISUALIZADAS EN OSCILOSCOPIO Y EJEMPLO DE SEÑAL DE RED ELÉCTRICA .....	47
FIGURA 6-13 MEDICIONES EN OSCILOSCOPIO CON LUZ SOLAR .....	48
FIGURA 6-15 ESQUEMÁTICO PCB CONEXIÓN Sonda-NXT .....	49
FIGURA 6-16 DISEÑO CARA INFERIOR Y FOTOLITO PCB CONEXIÓN Sonda-NXT .....	50
FIGURA 6-17 VISTA CARA INFERIOR PCB CONEXIÓN Sonda-NXT .....	50
FIGURA 6-18 CONECTOR HEMBRA RJ12 MANIPULADO .....	51
FIGURA 6-19 VISTAS FRONTAL Y LATERAL DE PCB CONEXIÓN NXT .....	51
FIGURA 6-20 VISTA SUPERIOR Y DESCRIPCIÓN DE PCB CONEXIÓN NXT .....	51
FIGURA 6-21 VISTA FRONTAL DEL SISTEMA MECÁNICO .....	52
FIGURA 6-22 VISTA TRASERA SIN NXT .....	53
FIGURA 6-23 VISTA LATERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE LA COLUMNA DE AGUA .....	53
FIGURA 6-24 COLUMNA DE AGUA .....	54
FIGURA 7-1 PANEL FRONTAL .....	56
FIGURA 7-2 BLOQUE SENSOR DE TEMPERATURA .....	56
FIGURA 7-3 BLOQUE SENSOR DE LUZ .....	57
FIGURA 7-4 BLOQUE SENSOR PRESIÓN .....	57
FIGURA 7-6 ESTADOS .....	59
FIGURA 7-7 ESTADO "EN REPOSO" .....	59
FIGURA 7-8 ESTADO "CONTROL MANUAL" .....	60
FIGURA 7-9 ESTADO "INICIALIZACIÓN" .....	60
FIGURA 7-10 ESTADO "BAJANDO" .....	61
FIGURA 7-11 ESTADO "TOMA DE MEDIDAS" .....	62
FIGURA 7-12 ESTADO "SUBIENDO" .....	62
FIGURA 8-1 VISTAS DEL ENSAYO .....	63
FIGURA 8-2 RESULTADO ENSAYO .....	64
FIGURA 8-3 EXCEL DEL ENSAYO .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PINES PUERTO ENTRADA .....	26
TABLA 2 PINES PUERTO DE SALIDA .....	28
TABLA 3 ALIMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS .....	38
TABLA 4 TENSIONES PROPORCIONADAS POR LOS REGULADORES .....	38
TABLA 5 MEDICIONES CON LUZ ARTIFICIAL .....	47
TABLA 6 MEDICIONES CON LUZ SOLAR .....	48



## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras parejas Julia y Sandra por su paciencia y apoyo incondicional.

A nuestras familias por sus ánimos y siempre estar ahí.

A nuestro amigo Rafa por sus consejos.

A Óscar por su ayuda y dedicación y a nuestro tutor Joaquín del Río por hacer este proyecto posible.

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1.ORIGEN Y MOTIVACIÓN

Llegados a la parte final de la carrera, nos enfrentamos al desafío de hacer el Proyecto final tras un periodo de inactividad académica de 4 años por motivos laborales.

Desde un principio, se plantea la idea de orientar el proyecto al mundo del ferrocarril, que es al cual nos dedicamos, pero finalmente se decide escoger algún proyecto disponible por parte de la universidad.

Lo que se tiene claro inicialmente, es que se quiere trabajar con el Departamento de Ingeniería Electrónica, que es donde encontramos mayor sentido y motivación a la aplicación de los conocimientos adquiridos en los últimos años de estudio.

Inicialmente se nos ofrece la posibilidad de trabajar con un reloj tipo deportivo de Texas Instruments (eZChronos), el cual tiene varios sensores y un microprocesador que es programable. De entrada es interesante las posibilidades de desarrollo que ofrece, pero al ser centrado exclusivamente a programar en C, lenguaje que hay que familiarizarse por no haberse utilizado antes, nos quedamos atascados con muy pocos avances y sin ninguna motivación para continuar.

Se decide pues, buscar otras alternativas, buscar algo que viéramos capaces de desarrollar y que realmente motivara. Es entonces cuando el tutor Joaquín del Río, nos muestra un kit de Lego llamado “Lego Mindstorms” donde aparentemente se puede construir un robot y poderlo programar.

Lo interesante de esta plataforma es que es un sistema embebido que se puede programar en un lenguaje de alto nivel. A diferencia de los demás microcontroladores que generalmente tienen que ser programados en lenguajes textuales, el controlador de LEGO se puede programar en LabVIEW, lenguaje que ya ha sido utilizado durante la carrera y del que disponemos algunas nociones básicas.

Esto lo hace realmente potente y versátil, ofrece muchas posibilidades de desarrollo y de continuar y/o mejorar otros proyectos anteriores.

Así pues se plantea el estudio de la plataforma y la familiarización de la misma durante una primera etapa para luego buscarle una aplicación más concreta con la que desarrollar el proyecto final de carrera.

## 1.2.OBJETIVOS

## INTRODUCCIÓN

A partir de la plataforma LEGO MINDSTORMS, se pretende diseñar y montar un sistema prototipo capaz de realizar medidas de temperatura, luminosidad y profundidad en la columna de agua hasta una profundidad de 30m.

El sistema estará formado por los sensores necesarios para realizar las medidas, el sistema mecánico para permitir largar y recuperar los sensores durante la columna de agua y el sistema electrónico encargado de la adquisición y procesado de los datos. El sistema también incorporará una aplicación software encargada del registro y visualización de los datos.

Para lograr los objetivos descritos se realizarán las siguientes tareas y actividades:

- Selección de los sensores para realizar las medidas
- Diseñar y montar los acondicionamientos de señal mediante placas electrónicas.
- Programación del sistema electrónico de adquisición y procesado basado en el kit de LEGO MINDSTORM NXT que también controlará los motores encargados del largado y recuperación de los sensores.
- Desarrollo de una aplicación de interfaz de usuario para la monitorización y registro de datos mediante lenguaje de programación LabVIEW.

Los sensores que se diseñarán serán externos a la plataforma por lo que se estudian las etapas de entrada del controlador NXT y sus conectores para poder acondicionar los sensores utilizados.

Luego se creará una sonda donde irán los sensores para que puedan ser sumergidos y tomar las medidas bajo el agua.

La plataforma LEGO MINDSTORM es cada vez mas usada en entornos universitarios. Se utiliza en algunas practicas de laboratorio y con este proyecto se pretende darle una nueva aplicación original con la que se espera que pueda ser ampliada y mejorada por futuros alumnos.

### 1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria esta estructurada en 10 capítulos.

En el primero se introduce en el proyecto, se explica el origen y las motivaciones que llevan a cabo a realizar el proyecto, luego se establecen los objetivos a desarrollar.

En el segundo capítulo se menciona el estado del arte. Se pone al lector en situación de los dispositivos punteros que hay en el mercado, que realizan las tareas que se quieren desarrollar.

En el tercer capítulo se muestran diferentes plataformas robóticas orientadas a la docencia.

## INTRODUCCIÓN

En el cuarto capítulo se describe al detalle la plataforma con la que se desarrolla el proyecto.

En el quinto se habla del diseño y acondicionamientos realizados para la construcción de los sensores.

El sexto capítulo trata sobre el montaje de todo el sistema, primeramente los diseños de las PCB, el enresinado de la sonda, la construcción del robot y las calibraciones. Por último se muestra la fabricación de una columna de agua para el ensayo.

En el séptimo capítulo se explica todo lo referente al sistema de adquisición de datos. Se detalla todo el software implementado.

En octavo capítulo se muestran los resultados finales tras realizar un ensayo en la columna de agua fabricada por los alumnos.

El noveno y décimo capítulo, detalla el coste del sistema y se dan las conclusiones y valoraciones finales.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Los parámetros básicos de la calidad del agua y profundidad de la columna de agua deben ser controlados para proporcionar un registro de las condiciones ambientales en el momento de la toma de muestras.

Los parámetros de calidad del agua se deben medir en el mismo tiempo y lugar como cualquier muestreo biológico. Para caracterizar correctamente las condiciones de calidad del agua, en general se requieren conjuntos de datos a largo plazo.

Los esquemas de supervisión para muchas de las características de calidad del agua de un hábitat implican relativamente simples métodos in situ.

En la actualidad, el instrumento estándar que se utiliza para medir la temperatura, salinidad y a menudo también el contenido en oxígeno disuelto es el CTD<sup>1</sup>.



Figura 2-1 Dispositivo CTD desmontado

Mediante la medición de la conductividad (cuán fácilmente pasan las corrientes eléctricas a través del agua siendo examinada), los científicos pueden obtener mediciones de la salinidad en esa muestra de agua. Esto es posible debido a que la corriente eléctrica pasa mucho más fácilmente a través del agua con un contenido de salinidad más elevada. Así que, si se conoce la conductividad del agua, se sabrá cuánta sal hay en el agua. La salinidad se mide en Psu (unidades prácticas de salinidad).

Usualmente, un instrumento CTD usa un termistor, un termómetro de platino o, una combinación de ambos para medir la temperatura del agua. La temperatura medida por un instrumento CTD tiene una exactitud de 0.005 grados centígrados.

Finalmente, un instrumento CTD mide la presión usando un monitor de presión por deformación, o un medidor de presión digital de cristal de cuarzo. La presión se

---

<sup>1</sup> CTD, por su siglas en inglés: Conductivity, Temperature and Depth/ Conductividad, Temperatura y Profundidad

## ESTADO DEL ARTE

registra en decibares, y debido a que la profundidad y la presión están relacionadas directamente, una medida en decibares puede ser convertida en metros de profundidad. El instrumento CTD puede medir la presión, con un margen de error de aproximadamente 1%.

La densidad del agua se calcula a través de mediciones de conductividad (salinidad), temperatura y presión in situ. Cuando estos tres valores son conocidos, una ecuación conocida como la ecuación del estado del agua relaciona las medidas para poder encontrar las densidades.

Las mediciones de conductividad, temperatura y presión son registradas en forma digital. Pueden ser almacenadas mediante el instrumento CTD, y transferidas a una computadora personal una vez que el CTD haya sido extraído del agua o, la información transferida puede circular continuamente, a través de un cable conectado desde el instrumento CTD; de manera que se pueda medir el oxígeno disuelto, pH, turbulencia y fluorescencia del agua. Los perfiladores CTD son un equipo sofisticado, pero pueden ser usados en todo tipo de situaciones.

También existen otros instrumentos portátiles o sondas multiparámetro, por ejemplo YSI y Hach-Hydrolab, permiten una medición rápida de parámetros como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, fluorescencia de la clorofila y turbidez. Las mediciones se realizan en la mitad de la profundidad de la columna de agua, a excepción de la atenuación de la luz y la temperatura que se mide en múltiples profundidades. Este tipo de sondas pueden montarse en estaciones fijas o en perfiladores verticales, que se mueven arriba y abajo a través de la columna de agua. Para la lectura de datos continuos a largo plazo en el laboratorio, se utilizan aparatos de telemetría como WI-FI, satélite y radio.



Figura 2-2 Sondas Multiparamétricas Hydrolab HL4 y YSI600QS

### 3.PLATAFORMAS ROBÓTICAS PARA LA DOCENCIA

En la actualidad existen multitud de plataformas robóticas que se pueden utilizar en la enseñanza, en este apartado se analizan algunas de las más utilizadas.

*Lego Mindstorms:*

En el siguiente capítulo de LEGO MINDSTORMS se habla extensamente sobre esta plataforma.

*Moway:*

Construido alrededor de un microcontrolador PIC (un 18F86J50 en este caso) dispone de un grupo motor incorporado, varios diodos LED, sensores infrarrojos anticollisión, sensores de luminosidad y temperatura, micrófono y un altavoz. Se alimenta a través de una batería LiPo de una celda que se recarga mediante un puerto USB. La programación de la plataforma se realiza esencialmente mediante un entorno (MowayWorld) desarrollado por la propia empresa que los fabrica. Es de tipo gráfico, aunque se puede programar tanto en C como en ensamblador para PICs, proporcionándole las librerías necesarias.

Uno de los problemas de esta plataforma es la limitación espacial para añadir electrónica de usuario. Las ventajas son su tamaño, documentación y presentación.



Figura 3-1 Moway

*Skybot:*

El robot Skybot es un robot también con alma educacional pensado para aquellos que quieren iniciarse en el mundo de la robótica y los microcontroladores. Su electrónica es la misma empleada en robots más avanzados tanto comerciales como de investigación. Por ello, a partir de este robot es muy fácil desarrollar otros más complejos.

Es un robot abierto, toda la información está disponible y se conceden permisos para su estudio, modificación y distribución. El software para su utilización es libre. Tiene una estructura a medida fabricada en metacrilato cortado por láser y su “cerebro” lo compone una tarjeta “SkyPic” basada en un microcontrolador 16F876A de Microchip. Dispone de cuatro sensores de infrarrojos de corta distancia CNY70, dos sensores de contacto y un sensor de luminosidad. La motorización está compuesta de dos servos modificados para la rotación continua.

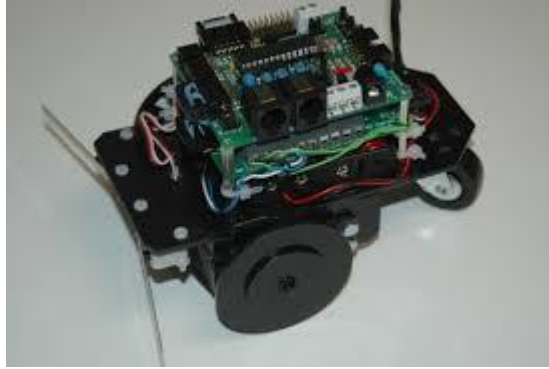


Figura 3-2 Skybot

### *Boebot:*

Es una empresa (<http://www.parallax.com/>) que posee un amplio abanico de productos relacionados con el mundo de la robótica. Entre ellos cabe destacar “HomeBOE-Bot” que es un robot muy similar al LEGO MINDSTORMS NXT en cuanto a la funcionalidad. Bajo la referencia "HOMEBOEBOT" se proporcionan todos los componentes necesarios para construir un completo “microbot” móvil, sin la necesidad de contar con grandes conocimientos técnicos sobre microcontroladores. El microbot “Home BOE-Bot” consiste fundamentalmente en una estructura motriz que se gobierna mediante la tarjeta “Home Work” de Parallax, la cual incluye un potente microcontrolador “BasicStamp 2”.

Una de las ventajas de este microbot radica en su reducido precio. También posee un excelente tutorial y bibliografía que facilitan su programación. Su programación se realiza con “PBASIC”, un lenguaje de alto nivel basado en el lenguaje “BASIC”.

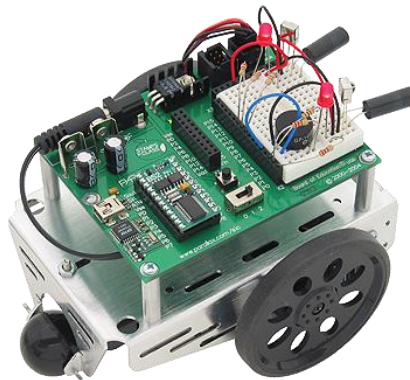


Figura 3-3 Boebot



## 4.LEGO MINDSTORMS

A pesar de que inicialmente se propuso como un juego de robótica, la plataforma LEGO MINDSTORMS ha ido adquiriendo un interés creciente en entornos educativos a diferentes niveles. Sin embargo, es en entornos universitarios donde esta plataforma está ganando más aceptación debido a que proporciona una plataforma potente y de coste reducido para ilustrar conocimientos de diferentes áreas de conocimiento. En este caso se desarrollan conocimientos obtenidos en materias tales como Programación, Electrónica de control, Instrumentación, entre otras.

### 4.1.HISTORIA

La plataforma LEGO MINDSTORMS es un juego de robótica desarrollado por la compañía LEGO en colaboración con el MIT (Massachusetts Institute of Technology). El kit básico proporciona los elementos básicos (sensores, servos y partes mecánicas) para construir robots sencillos.

De la colaboración entre LEGO y el MIT salieron diversos productos que no funcionaron, en gran medida debido a que la programación de estos productos debía hacerse en ordenadores, y a principios de los años 90 los ordenadores no estaban al alcance de cualquier usuario.

A finales de los años 90, cuando se generalizó el acceso a los ordenadores, LEGO sacó al mercado un nuevo producto. Este producto fue el Robotics Invention System (RIS) y se convirtió en la primera versión de la línea de productos LEGO MINDSTORMS. Salió al mercado en 1998, y contaba con un bloque o ladrillo (brick en inglés) con un microcontrolador de 8 bits (Hitachi H8/3000) sobre el que se ejecutaban los programas que hacían que el robot interactuase con el entorno. El nombre de este primer bloque fue RCX. El kit RIS estaba compuesto por el bloque RCX, sensores y actuadores así como piezas estándares de LEGO que permitían la creación de un gran número de estructuras. También incluía un software de programación para crear programas de ejecución.

En 2006 salió al mercado el producto LEGO MINDSTORMS NXT en sustitución del kit RIS. Este nuevo producto era totalmente distinto en apariencia y prestaciones. El nuevo bloque se comercializó bajo el nombre de NXT. Las prestaciones que ofrecía eran mayores: USB, Bluetooth, LCD más grande, microcontrolador de 32 bits, etc. Además, se incorporaron nuevos sensores más precisos y motores más potentes.

Desde 2013, se comercializa la tercera generación llamada LEGO MINDSTORMS EV3. Este modelo incorpora el nuevo bloque EV3 que contiene mejores prestaciones como: sistema operativo LINUX, procesador ARM9 de 300 MHz, memoria RAM de 64 MB,

## LEGO MINDSTORMS

memoria Flash de 16 MB, puerto mini USB, puerto de host USB, puerto para tarjetas microSD, 4 puertos de salida y receptores infrarrojo, Bluetooth y Wifi.



Tabla Resumen de las principales características técnicas de los robots LEGO Mindstorms

	RCX	NXT	EV3
Procesador	Hitachi H8/3292 10 – 16 MHz, 16 KB-ROM, 32 KB- RAM	Atmel 32-Bit - ARM7 48 MHz, 256KB flash, 64 KB RAM.	ARM 9 300 MHz, 16 MB – flash, 64 MB RAM
Sistema operativo	Propietario	Propietario	Abierto (basado en Linux)
Puertos	3 puertos para motores 3 puertos para sensores	3 puertos para motores 4 puertos para sensores	4 puertos para motores 4 puertos para sensores
Comunicación	Puerto IR en el frente del <i>brick</i> utilizado para comunicación con el equipo de cómputo y con otro RCX	USB 12 Mbps Bluetooth	Bluetooth v2.1 Wi-Fi mediante el puerto USB
Almacenamiento extra	N/A	N/A	Ranura Micro SD

Figura 4-1 Tabla resumen bloques LEGO

### 4.2.LEGO NXT

El kit del que se dispone para llevar a cabo este proyecto es el LEGO MINDSTORM NXT versión Educa, proporcionado por el centro de desarrollo SARTI<sup>2</sup>. El kit contiene:

- 1 Bloque NXT
- 5 sensores (2 de contacto, ultrasonidos, sonido y luz)
- 3 servomotores
- 3 lámparas
- 437 piezas para crear estructuras mecánicas compatibles con las de otros productos LEGO
- 7 cables de conexión NXT
- 1 cable USB
- 1 batería recargable (2100mAh) + cargador 220v

<sup>2</sup> SARTI : Centro de Desarrollo Tecnológico de Sistemas de Adquisición Remota y Tratamiento de la Información



Figura 4-2 Kit LEGO MINDSTORMS education

### 4.3.BLOQUE NXT

El controlador, bloque NXT o brick, contiene una CPU con capacidad de ejecutar programas de diferente complejidad. Concretamente, cuenta con un microprocesador Atmel ARM7 de 32 bits a 48 MHz. Se trata de un microprocesador utilizado en electrónica de consumo (PDAs, teléfonos móviles, reproductores digitales multimedia,...) así como en otras aplicaciones embebidas como por ejemplo en la industria del automóvil. Además, la plataforma cuenta con un coprocesador, Atmel AVR de 8 bits, y con una memoria Flash de 256 KB y una memoria RAM de 64 KB.

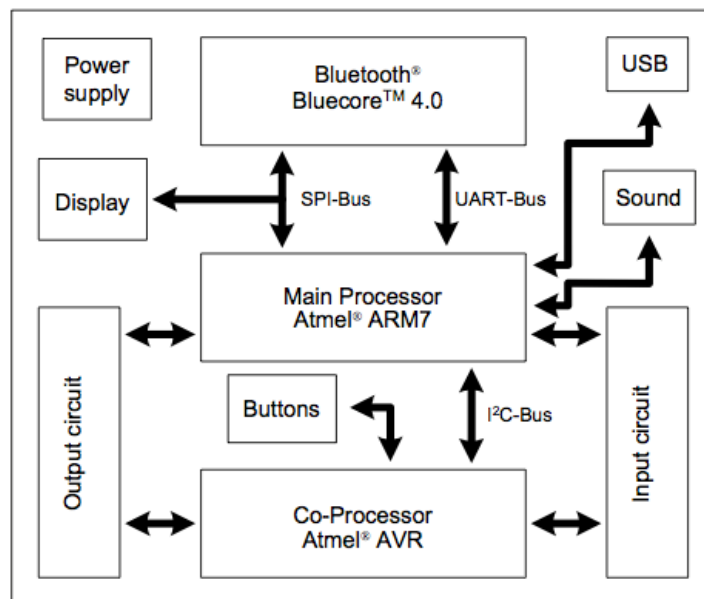


Figura 4-3 Diagrama de bloques Hardware NXT

## LEGO MINDSTORMS

Con respecto a las comunicaciones, el controlador soporta tanto comunicaciones inalámbricas con Bluetooth (especificación v2.0 EDR) como comunicación por cable usando tecnología USB (estándar 2.0) que soportan tasas de transferencia de datos de hasta 2.1 y 12 Mbits/s respectivamente.

El bloque NXT cuenta con 4 puertos de entrada con conexión RJ12, que permiten conectar sensores tanto digitales como analógicos y 3 puertos de salida RJ12 que se utilizan para conectar diferentes tipos de actuadores, normalmente servomotores.

Cabe recalcar que los conectores RJ12 utilizados por LEGO son modificados, de manera

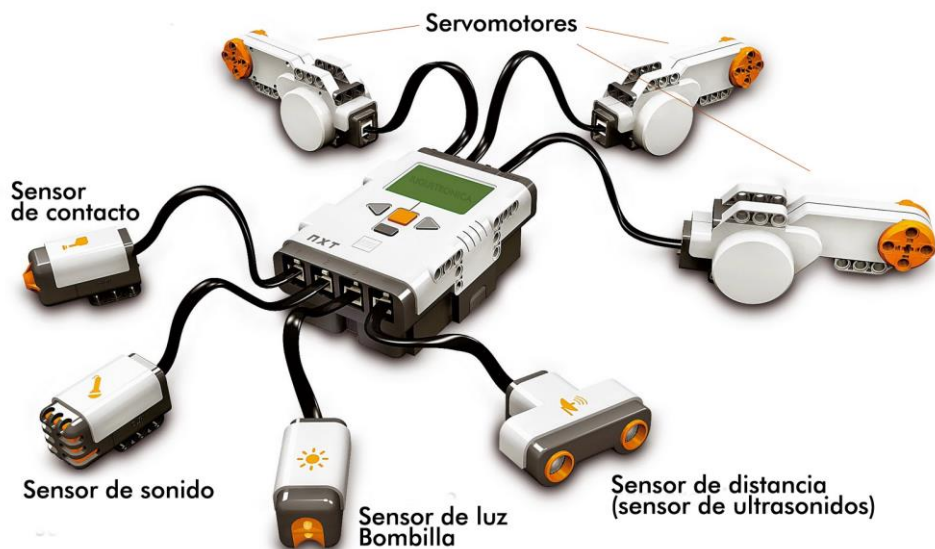


Figura 4-4 Bloque NXT, sensores y actuadores

que no pueden ser introducidos en un conector estándar telefónico, ya que el teléfono funciona con un voltaje superior al de seguridad del NXT y podría ser dañado.



Figura 4-5 Conector RJ12 con la pestaña desplazada

Además, el controlador cuenta con una pantalla LCD gráfica de 100x64 píxeles que se puede utilizar en modo gráfico para dibujar figuras, un altavoz con un canal de sonido con 8 bits de resolución capaz de generar tonos en el rango de 2 a 16 KHz y 4 botones que permiten interactuar con el bloque NXT.

#### 4.4.HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

Existe una gran diversidad de entornos de programación que permiten construir programas para los robots LEGO MINDSTORMS en diferentes lenguajes de programación. Un buen punto de partida para seleccionar el lenguaje y el entorno de una extensiva y actualizada lista puede ser la Wikipedia (Ver [Lego Mindstorms](#)). Como se puede observar en esa lista, Existen herramientas para programar los controladores en prácticamente cualquier lenguaje de alto nivel, incluyendo algunos de los más extendidos: C, C++, Java, Ada, .NET (C#, Visual Basic), LabVIEW, Python, Ruby, MATLAB, etc. Además, existen lenguajes de programación específicos que están basados en lenguajes de programación estándar y que añaden algunas características específicas facilitando la programación de los controladores. Entre estos lenguajes de programación predominan los lenguajes textuales NQC, NXC y RobotC, basados en código C y NXT-G que se trata de un lenguaje de programación gráfico basado en LabVIEW.

Además, de la amplia gama de lenguajes de programación disponibles, una característica importante de la programación de los robots LEGO es la gran cantidad y calidad de entornos de programación disponibles. En muchos casos, se pueden programar los robots LEGO desde entornos que se utilizan a nivel profesional, como Visual Studio .NET, Eclipse, LabVIEW o muchos de los entornos que soporten el compilador y herramientas GCC. La programación con estos entornos de programación se realiza desde un PC o Mac con Windows / Linux / OS X, desde donde se utilizan herramientas para crear los programas, cargarlos en la CPU e, incluso en algunos casos, se permite depurarlos.

A continuación se muestra lenguaje NXT-G que es el software comercial de LEGO MINDSTORMS NXT y el lenguaje LabVIEW de National Instruments que es el elegido para desarrollar el proyecto.

##### 4.4.1. NXT-G

Este es el software comercial de LEGO MINDSTORMS NXT. Está basado en el motor de LabVIEW de National Instruments.



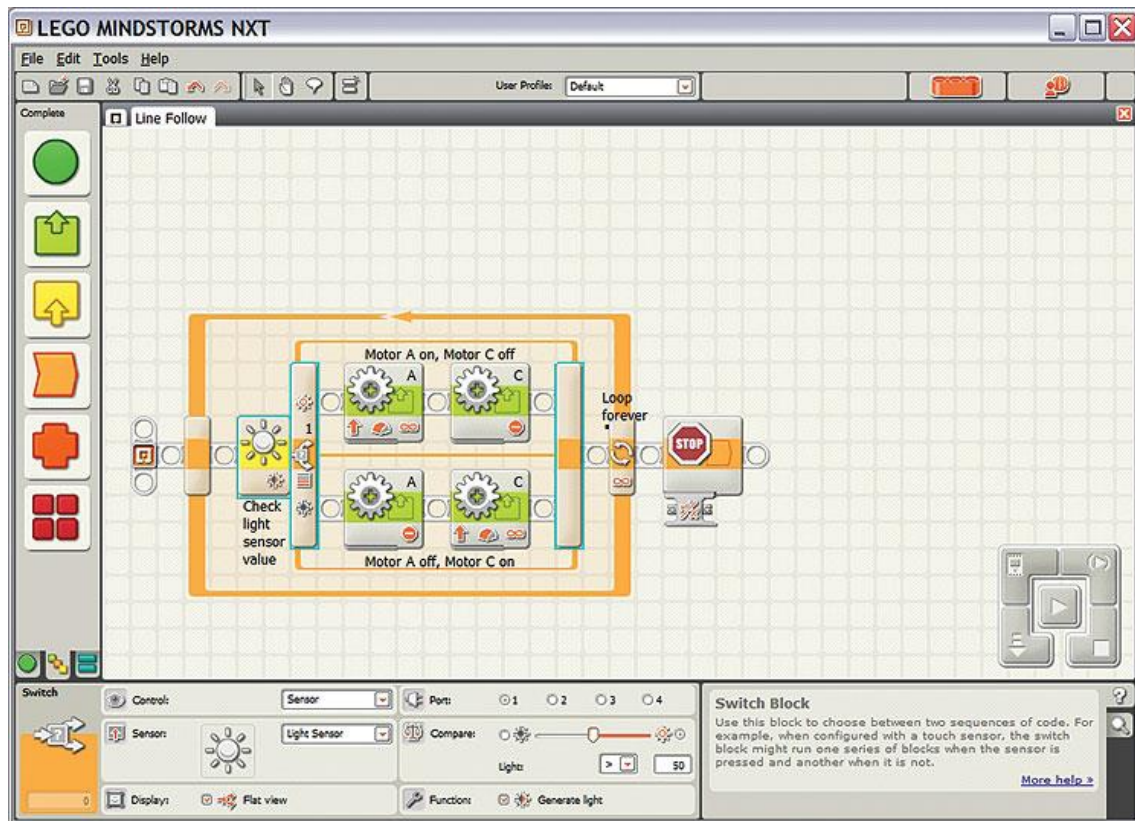


Figura 4-6 NXT-G

Se trata de un software propietario con una programación gráfica en el que la programación se realiza conectando bloques en secuencia. Los bloques son insertados en una ventana y entrelazados entre sí, obteniendo secuencias de comandos que el robot realizará, desde mover los servomotores a leer datos de un sensor. Se trata de un entorno sencillo que puede ser utilizado sin conocimientos de programación y muy útil para entender algunos conceptos de programación del NXT de cara a utilizar otros lenguajes.

#### 4.4.2. LABVIEW

*LabVIEW* (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno de desarrollo de alto nivel basado en programación gráfica. Utiliza símbolos gráficos en lugar de lenguaje textual para describir acciones de programación. Esto implica que sea mucho más intuitivo que otros lenguajes escritos y se puede desarrollar aplicaciones complejas con poca experiencia en el mundo de la programación.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo programando un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicárselo a la

interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI (Instrumento Virtual) consta de dos partes diferenciadas:

- *Panel Frontal*: es la interfaz con el usuario, se utiliza para interactuar con él cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real. En esta interfaz se definen los *controles e indicadores*.
- *Diagrama de Bloques*: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.

En el panel frontal, se encuentran todo tipos de controles o indicadores, donde cada uno de estos elementos tiene asignado en el diagrama de bloques una terminal, donde estos elementos serán las entradas y salidas que interactuarán con la terminal del VI. Se puede observar en el diagrama de bloques, todos los valores de los controles e indicadores, como van fluyendo entre ellos cuando se está ejecutando un programa VI.

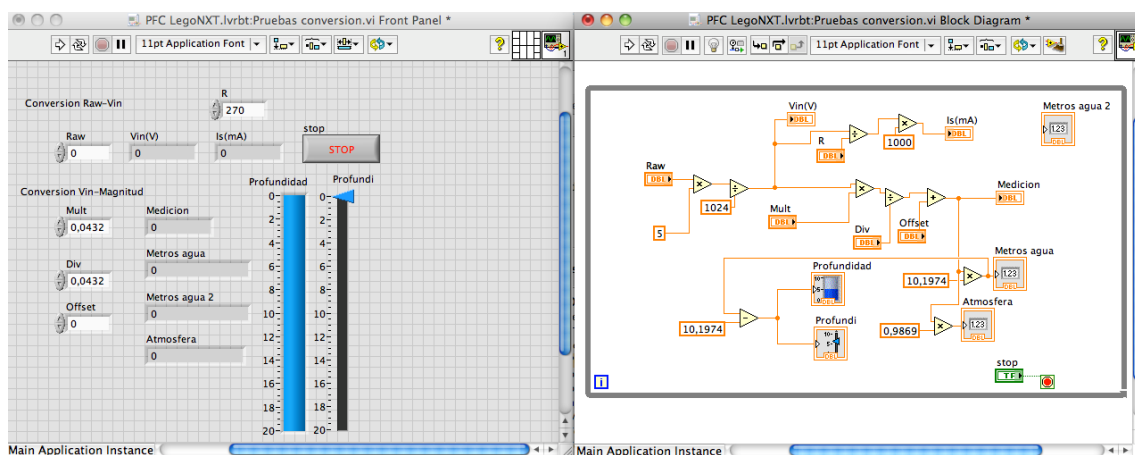


Figura 4-7 Panel frontal a la izquierda y diagrama de bloques a la derecha

Se ha escogido este lenguaje ya que se ha utilizado durante la carrera en asignaturas como instrumentación y se está familiarizado con el entorno. Es una forma muy potente y versátil de poder interactuar con Lego Mindstorms. Se logran resultados de una forma rápida y con un aprendizaje continuo.

Para poder comunicarse con el ladrillo hay que descargarse, gratuitamente, de National Instruments los bloques y funciones LabVIEW Toolkit for LEGO® MINDSTORMS® NXT.

Existen principalmente dos modos de funcionamiento. El primero es crear un programa y posteriormente cargarlo en el ladrillo. Otro es directamente controlar el NXT desde el PC con el programa corriendo sobre el Labview (ya que Lego Mindstorms NXT-G no tiene esta opción). Cada uno de estos modos tiene sus ventajas e inconvenientes en función de la aplicación.

En el caso de querer cargar un programa en el ladrillo para después hacerlo correr desde allí, debe hacerse uso de las funciones que se encuentran dentro del apartado *NTToolkit* ya que en caso contrario no se podrá compilar el programa.

En el caso de querer hacer correr un programa en *LabVIEW* sin tener que cargar nada en el NXT, podemos utilizar todas las herramientas que se quieran o se dispongan. La única condición es utilizar los llamados *NXT Direct Commands* para controlar el NXT. Mediante estos se hace viable enviar órdenes directamente vía USB o Bluetooth según se determine en un principio.

### 4.5.NXT I/O

En este apartado se van a estudiar las entradas y salidas del ladrillo para llegar a realizar sensores propios externos a la plataforma NXT. Como se ha mencionado anteriormente, el bloque contiene 4 puertos de entrada y 3 de salida.

#### 4.5.1. PUERTOS DE ENTRADA

En los puertos de entrada se conectan los sensores, de donde se adquieren las mediciones para luego ser procesadas mediante LabVIEW.

##### 4.5.1.1. SENSORES PROPIOS NXT

A pesar de que el kit básico de LEGO sólo cuenta con cuatro sensores, que miden luminosidad, volumen sonoro, ultrasonidos y un sensor de contacto, existe una amplia gama de sensores compatibles con la plataforma LEGO que miden muchas más variables: Aceleración, inclinación, posición (GPS), dirección (brújula), giróscopo, presión atmosférica, presión neumática, temperatura, magnitudes eléctricas (tensión, corriente, conductividad), magnitudes químicas (pH, salinidad, etc.) y muchas más. Dos de los suministradores más frecuentes de estos sensores son HiTechnic (<http://www.hitechnic.com/>) y MindSensors (<http://www.mindsensors.com/>), que no sólo ofertan sensores sino otros componentes compatibles con la plataforma LEGO MINDSTORMS. También existe un adaptador para conectar sensores Vernier (<http://www.vernier.com/probes/>) que amplía aún más el rango de sensores disponibles para medir magnitudes con la plataforma LEGO.



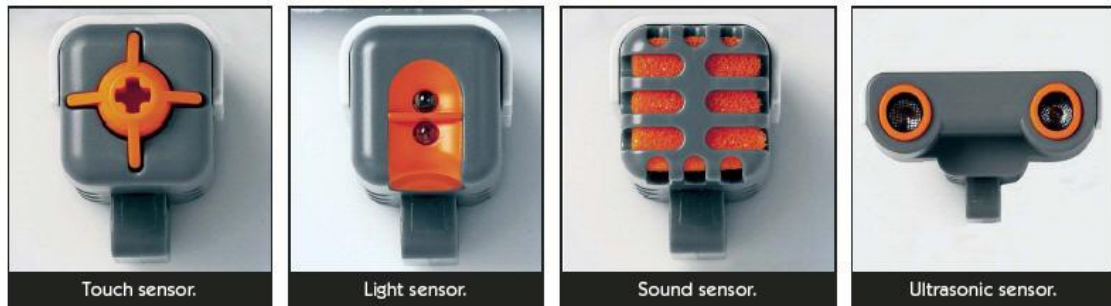


Figura 4-8 Sensores LEGO

Para la adquisición de datos de los sensores de LEGO basta con utilizar los bloques destinados a tal efecto en la paleta NXT Robotics de LabVIEW (figura 5.9). De los bloques en LabVIEW se obtiene:

- *Sensor de contacto*: un Sí cuando se presiona el botón y un No cuando se suelta. Este sensor es útil para detectar obstáculos o para utilizarlo como pulsador.
- *Sensor fotosensible*: una lectura desde 0 (completa oscuridad) hasta 100 (muy brillante). Este sensor permite medir la intensidad de la luz de forma que se puede saber si un cuarto tiene la luz encendida o apagada, que sea capaz de seguir una línea negra del suelo, etc.
- *Sensor acústico*: la cantidad de sonido medida en dB o dBA por el micrófono incorporado. Con este sensor se podría dar ordenes al robot con dar una palmada por ejemplo.
- *Sensor ultrasónico*: la distancia en centímetros y pulgadas. Es capaz de medir distancias de 0 a 2,5 metros con una precisión de  $\pm 3$  cm. Objetos de gran tamaño con superficies duras proporcionan las mejores lecturas. Objetos hechos con telas suaves, con objetos curvados (por ejemplo una pelota) o con objetos muy delgados y pequeños pueden dificultar la obtención de lecturas del sensor.

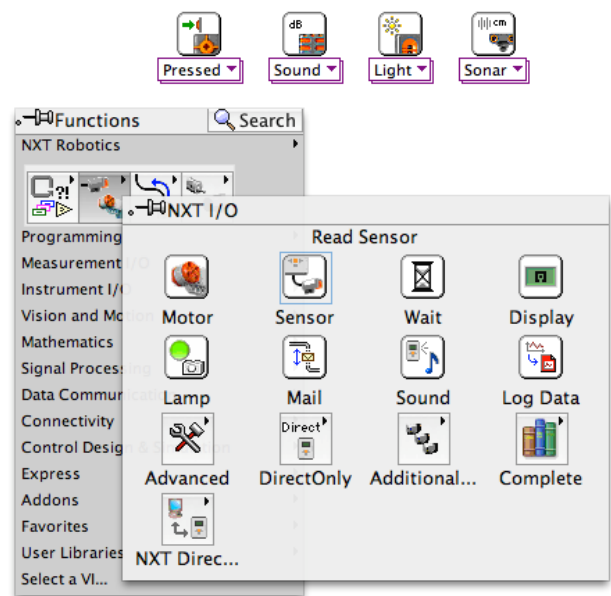


Figura 4-9 Bloques lectura de sensor

4.5.1.2. SENSORES EXTERNOS AL ENTORNO LEGO MINDSTORMS

Para poder diseñar sensores externos que sean compatibles con la plataforma LEGO MINDSTORMS es imprescindible conocer el circuito que presenta la entrada del NXT.

Los pines del puerto de entrada vienen indicados en la siguiente tabla:

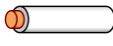
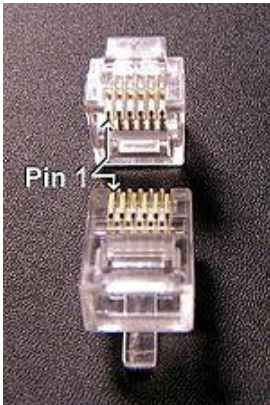




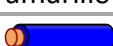
Pin	Nombre	Función	Color	Numeración de pin
1	ANA	Entrada Analógica	 blanco	
2	GND	Tierra	 negro	
3	GND	Tierra	 rojo	
4	IPOWERA	Alimentación de salida +4,3V	 verde	
5	DIGIAI0	I <sup>2</sup> C Clock (SCL), RS-485 B	 amarillo	
6	DIGIAI1	I <sup>2</sup> C Data (SDA), RS-485 A	 azul	

Tabla 1 Pines puerto entrada

El pin de entrada 1 es el pin de entrada analógica, está conectado a un convertor analógico-digital de 10 bits y una fuente de tensión continua de 5 voltios que polariza la entrada del convertor a través de una resistencia de 10 kΩ. La frecuencia de muestreo para todas las señales analógicas es de 333 Hz.

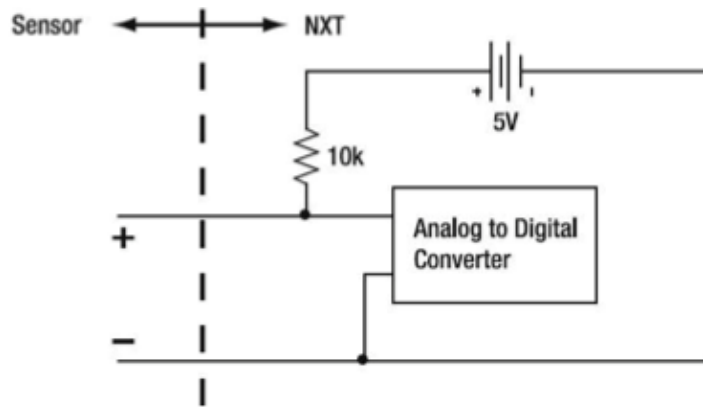


Figura 4-10 Circuito simplificado de la etapa de entrada del NXT

Por lo tanto, para señales analógicas se obtiene del conversor ADC el bit 0 para 0 Volts en la entrada, y el bit 1023 para 5 Volts.

De esta forma se puede medir cualquier variación de tensión procedente de un sensor analógico, con un rango de 0 a 5 Volts.

El pin 4 IPOWERA esta presente tanto en los puertos de entrada como en los de salida, ofrece una salida de 4,3V y un máximo de unos 180mA para todos los puertos, es decir que por cada puerto dispone de 20mA aproximadamente.

Para comunicaciones con dispositivos digitales se utilizan los pines 5 y 6 utilizando protocolo I<sup>2</sup>C a 9600bit/s.

Los sensores que se van a diseñar en este caso son analógicos, así que irán conectados con los cables de color blanco y negro (pin1 ANA y pin 2 tierra).

Para poder medir la variación de tensión producida por el sensor diseñado, se tendrá que leer el número de bit (RAW) del conversor ADC para después conocer la tensión de entrada del convertidor mediante la ecuación:

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{2^n} \cdot [B] \Rightarrow V_{in} = \frac{5}{1024} \cdot [B]$$

De la ecuación se deduce que para que haya un salto de bit es necesario incrementos de 4,88mV en la tensión de entrada del convertidor, que es la variación de tensión mínima que tendrá que hacer el sensor diseñado para poder ser apreciada por el convertidor.

Desde LabVIEW, con el bloque Read Generic Sensor se obtiene el RAW del ADC, previamente hay que usar el bloque Setup Sensor para configurar el puerto, luego mediante la ecuación de arriba, se obtiene Vin.

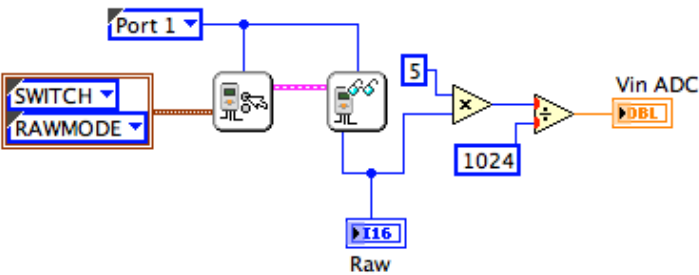


Figura 4-11 Código para la obtención de la tensión de entrada del ADC

4.5.2. PUERTOS DE SALIDA

En los puertos de salida se conectan los actuadores, para la realización del proyecto se han a utilizado los servomotores del kit, pero también se podría conectar unos actuadores externos conociendo las conexiones de los puertos. En la siguiente tabla se muestran los pines del puerto de salida:

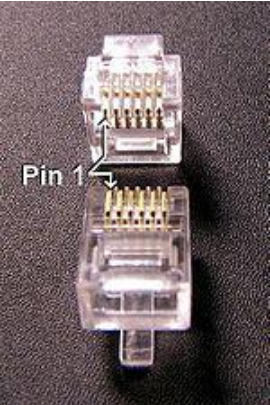
Pin	Nombre	Función	Color	Numeración de pin
1	MA0	Señal de salida PWM	blanco	
2	MA1	Señal de salida PWM	negro	
3	GND	Tierra	rojo	
4	POWERMA	Alimentación +4,3V	verde	
5	TACH00	Input value	amarillo	
6	TACH01	Input value	azul	

Tabla 2 Pines puerto de salida

Los servomotores pueden trabajar en los dos sentidos además de estar equipados con un sensor de rotación, con el que es posible contar los grados girados por el eje.



Figura 4-12 Servomotor de LEGO

## LEGO MINDSTORMS

Los pines 1 y 2 (MA0 y MA1) son señales de salida para controlar los actuadores, pueden suministrar una corriente continua de 700mA a 9 V para alimentar el actuador, con un pico de corriente máximo de 1mA aproximadamente.

El motor está controlado por un Puente-H. El puente está formado por cuatro transistores (Q1, Q2, Q3, y Q4). El circuito de control está diseñado de modo que los transistores 1 y 2 por un lado y 3 y 4 por otro no conduzcan simultáneamente. La imagen figura 5.13 muestra las cuatro posibilidades que existen.

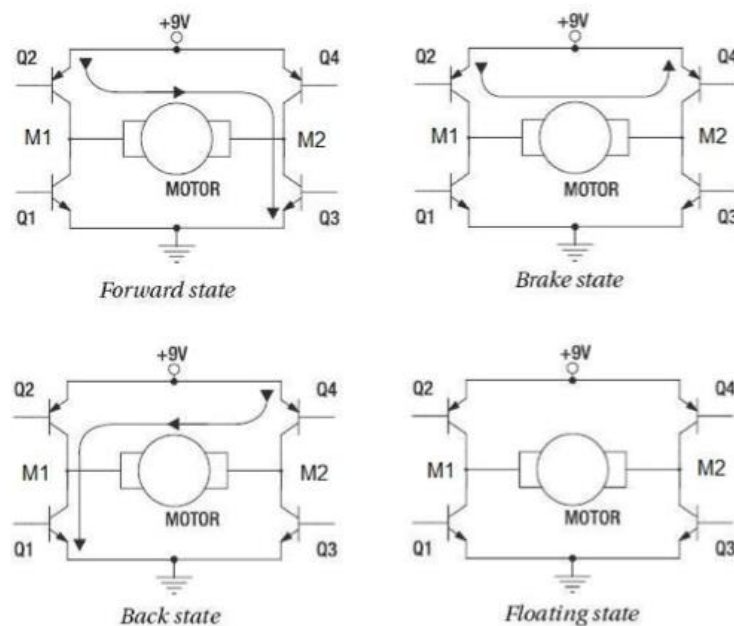


Figura 4-13 Circuito puente H y estado del motor según el paso de corriente

La velocidad de los motores es controlada por una modulación PWM (Pulse Width Modulation). La potencia en los motores se enciende y apaga rápidamente (ciclos de 128 $\mu$ s, 7800Hz con el firmware estándar) para controlar la potencia total suministrada. La velocidad depende de esta potencia.

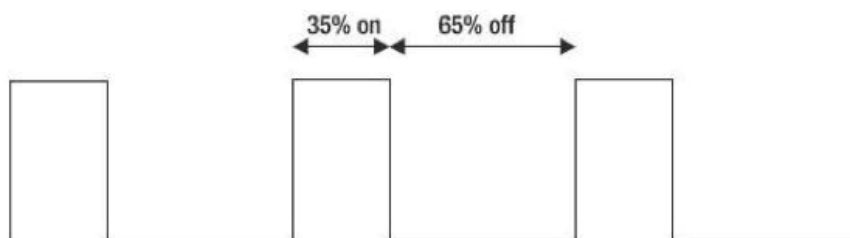


Figura 4-14 Pulse Width Modulation con una potencia suministrada del 35%

Los pines 5 y 6 (TACH00 y TACH01) son dos entradas utilizadas por el codificador óptico incluido en los motores del NXT.

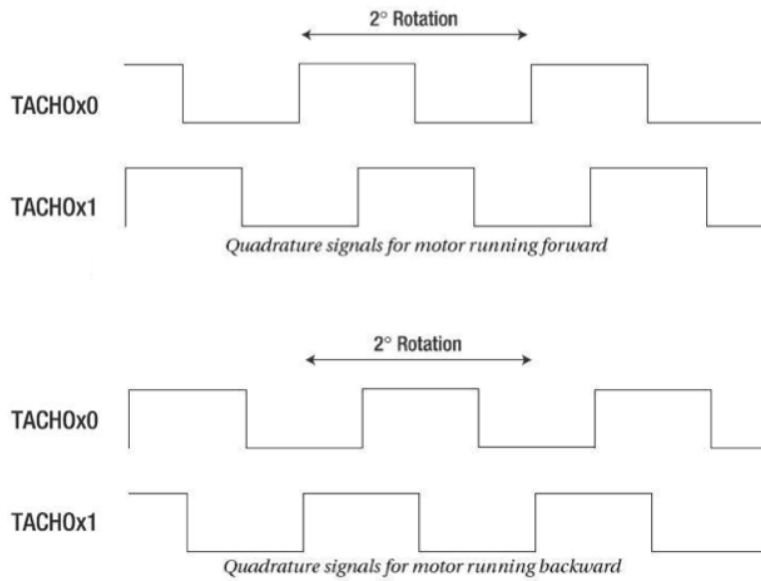


Figura 4-15 Señales en cuadratura de los pines 5 y 6

El codificador envía señales en cuadratura que determinan velocidad y dirección según el desfase entre ambas. La frecuencia de la señal da la velocidad de rotación de los motores mientras que medio ciclo representa un giro de un grado.

Desde LabVIEW se pueden implementar ordenes como:

- Mover el motor a una determinada potencia en el sentido deseado.
- Frenar el motor.
- Hacer girar el motor unos grados concretos para hacer avanzar el robot una distancia determinada.
- Asignar una velocidad diferencial entre dos motores conectados en puertos distintos.
- Leer rotación
- Resetear rotación.

## 5.DISEÑO Y ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

Teniendo en cuenta las características del controlador NXT, se pretende diseñar unos sensores que sean capaces de tomar medidas de temperatura, luminosidad y presión en la columna de agua. El principal problema que se va a tener es el medio, que al ser conductivo se tiene que aislar, al finalizar el diseño se enresinarán los circuitos creados para hacerlos estancos, de esta forma quedará montada lo que denominamos "sonda". Se detalla en el siguiente capítulo.

### 5.1.SENSOR DE TEMPERATURA

Para hacer mediciones de temperatura se va a utilizar el sensor de precisión y de salida lineal de Texas Instruments LM335.

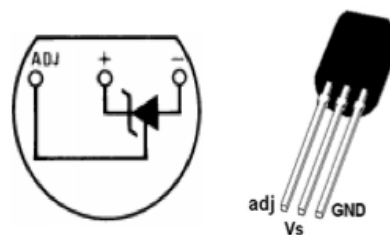


Figura 5-1 Sensor de temperatura LM335

El sensor LM335 trabaja entre 400 $\mu$ A y 5mA y puede medir en un rango continuo de -45°C a 100°C. En su configuración básica proporciona una salida calibrada a temperatura ambiente (25°C) de 10mV por grado. Para la aplicación requerida se va a alimentar el sensor a 5V y se fija la resistencia de PULL-UP a 1k $\Omega$ .

Basic Temperature Sensor Simplified Schematic

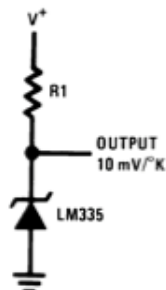


Figura 5-2 Montaje básico LM335

La salida en función de la temperatura viene dada por la siguiente expresión:

$$V_{out_T} = V_{out_{T_0}} \cdot \frac{T}{T_0} ; T[^{\circ}K]$$

Donde  $V_{out_{T_0}}$  son 2,98V, que es la tensión calibrada a la temperatura de calibración  $T_0$  (298°K). Como indica el fabricante en el Datasheet esta tensión es típica, pero puede variar entre 2,92V y 3,04mV según el sensor. Para mejorar la precisión se puede ajustar el sensor con un potenciómetro de 10kΩ conectado del pin “ADJUST”, a los pines Vs y GND.

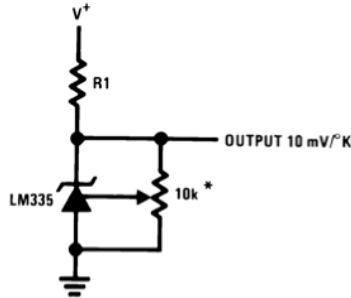


Figura 5-3 Montaje de calibración

De esta manera, ajustando el potenciómetro, se consigue la tensión de salida deseada. En nuestro caso también fue 2,98V, calibrado a temperatura ambiente (25°C).

La expresión de la salida del sensor queda de la siguiente forma:

$$V_{out_T} = 2,98 \times \frac{T}{298} \Rightarrow \boxed{V_{out_T} = 0,01 \times T[^{\circ}K]}$$

La cual nos permite obtener la temperatura despejando la incógnita  $T[^{\circ}K]$ :

$$T[^{\circ}K] = 100 \times V_{out_T}$$

Que en grados centígrados sería así:

$$T[^{\circ}C] + 273 = 100 \times V_{out_T} \Rightarrow \boxed{T[^{\circ}C] = 100 \times V_{out_T} - 273}$$

El montaje en Protoboard sería el siguiente:



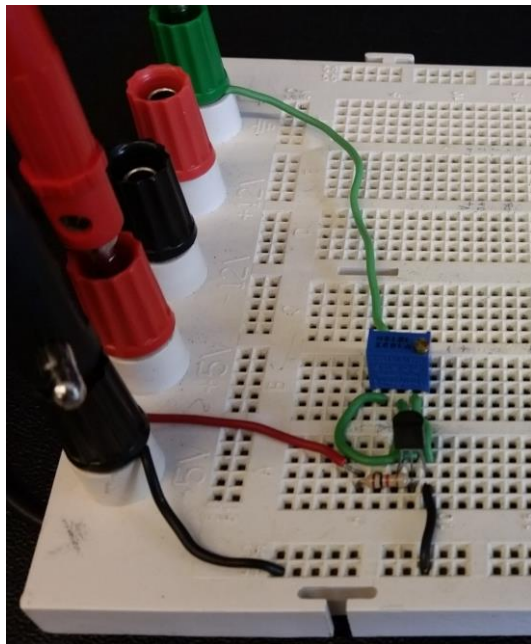
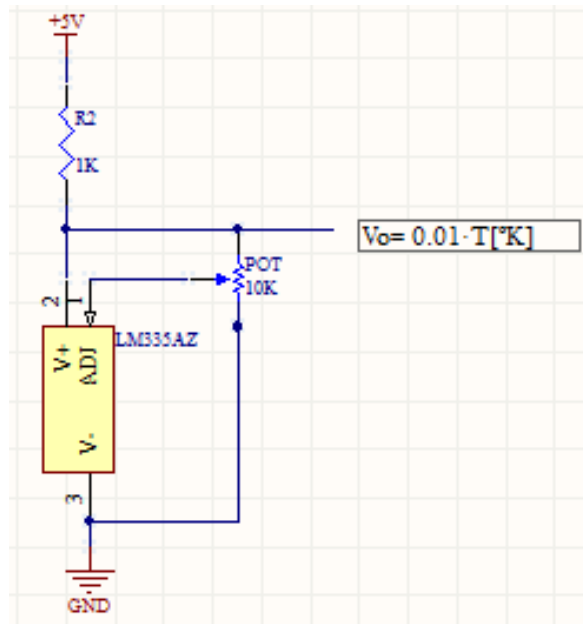


Figura 5-4 Montaje sensor de temperatura en Protoboard y esquemático



La tensión máxima que se tendría a temperatura máxima es de 3,98V. De esta forma es totalmente compatible con la entrada analógica del NXT y no sobrepasamos los 5V de la entrada del convertidor ADC.

## 5.2.SENSOR DE LUZ

Para la captación de intensidad lumínica hay muchos tipos de sensores como las LDR, fototransistores y fotodiodos. Los fototransistores tienen mucha sensibilidad, pero son más adecuados para luz infrarroja y las LDR se utilizan normalmente para aplicaciones de todo o nada con un comparador.

Como la idea es poder captar la intensidad lumínica bajo el mar, la cual será una intensidad lumínica débil a medida que aumenta la profundidad y cambiante debido a las inclemencias del tiempo o estaciones del año, se optó por utilizar un fotodiodo, puede encontrarse con lentes para uso específico de detección de luz en el espectro visible (no infrarroja).

Los fotodiodos están formados principalmente por una unión de material "P" y material "N" polarizada inversamente. En dicha unión la corriente inversa que circula va en función de la intensidad lumínica que recibe. A mayor intensidad lumínica mayor es la corriente de fuga, que es la corriente que circula inversamente.

Cuando la luz de longitud de onda adecuada es dirigida hacia la unión del fotodiodo, se crean pares hueco-electrón que se desplazan a través de la unión debido al campo generado en la región deprimida. El resultado es un flujo de corriente llamado fotocorriente que es proporcional a la intensidad lumínica recibida. El fotodiodo se

comporta básicamente como un generador de corriente constante hasta que se alcanza la tensión de avalancha.

Los fotodiodos tienen un pico de respuesta en una longitud de onda de luz determinada. Para dicha longitud de onda se produce la máxima cantidad de pares hueco-electrón en la unión. En cambio al polarizar el fotodiodo en directa su comportamiento apenas se ve alterado y se comporta como un diodo normal, si está fabricado en silicio la caída de voltaje será de 0,7V.

El fotodiodo utilizado pertenece al fabricante VISHAY y concretamente es el modelo VTB8440. Dicho fotodiodo incorpora una lente con capa de Epoxy la cual limita la detección de luz al espectro visible, que es lo que interesa para ésta aplicación. Éstas son algunas de sus características:

- Fotodiodo de silicio.
- Capa de Epoxy, en la lente, para limitar la luz al espectro visible.
- "Corriente Oscura" (Dark current) de 2000pA.
- Corriente de cortocircuito 45uA.
- Alta resistencia de shunt (0,7Gohms).
- Sensibilidad de longitud de onda de 365 a 750nm (espectro visible debido a la capa de Epoxy en la lente).

Gráfica que muestra la sensibilidad en función de la longitud de onda de la luz recibida en el fotodiodo:

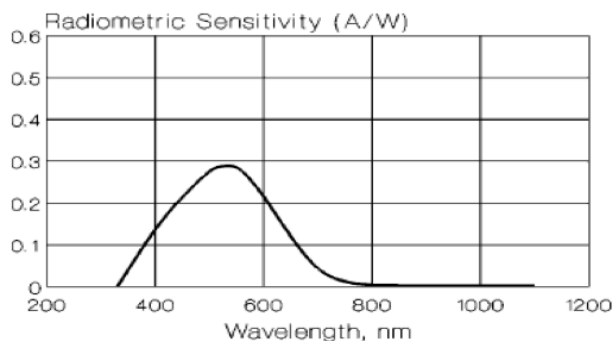


Figura 5-5 Sensibilidad fotodiodo VTB8440 e imagen



El comportamiento del fotodiodo como se ha dicho antes, es como el de una fuente de corriente que proporciona una corriente muy pequeña. Esta corriente hay que convertirla a tensión para que se pueda conectar con el NXT.

Para ello se va a diseñar un simple convertidor de corriente a tensión con un amplificador operacional.

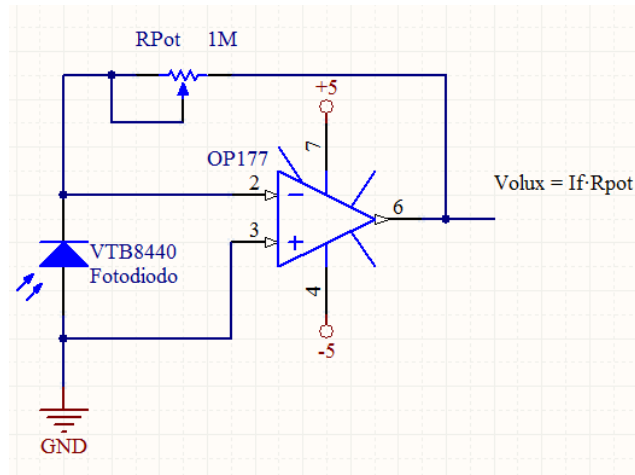


Figura 5-6 Diseño del fotodiodo con el amplificador operacional

El fotodiodo se polariza en inversa y se conecta a la entrada no inversora del operacional. Mediante un potenciómetro se ajusta la ganancia del sistema. A mayor intensidad lumínica, a la salida del operacional habrá un mayor voltaje. El sistema se alimentará a  $\pm 5V$ .

A la hora de escoger el operacional se debieron tener en cuenta dos factores fundamentales:

- Como el dispositivo con el que se trabajará es un dispositivo que proporciona corriente en función de la intensidad lumínica recibida se debió escoger un operacional con unas corrientes de 'Bias' lo más bajas posibles.
- Por el contrario se debió tener en cuenta que la impedancia de entrada del operacional fuera lo más grande posible para que las corrientes provenientes del fotodiodo no se pierdan.

Por todo ello se escogió el amplificador operacional OP177 del fabricante Analog Devices el cual es un operacional de precisión y bajo consumo (2mA Max.). Las corrientes de 'Bias' de éste integrado son de 2nA como máximo y la corriente de offset máxima es de 1,5nA. La impedancia de entrada es de 200Gohms en modo común y el voltaje de offset máximo es de 45uV.

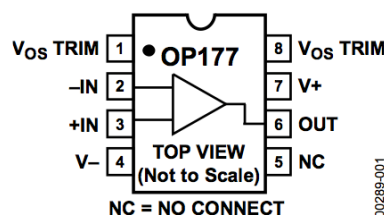


Figura 5-7 Amplificador operacional OP177

Las pruebas para comprobar qué voltajes mínimo y máximo se tienen a la salida del circuito anterior (fotodiodo+convertidor corriente a voltaje) se realizaron mediante un foco regulable en altura e intensidad y un luxómetro TESTO545. Ver FIGURAS 7.9 y 7.10

Se fija la luz a una intensidad de 6500lux que utilizamos de fondo de escala y con el potenciómetro fijamos una tensión lo mas alta posible sin que sature el sistema, decidimos fijar la tensión de salida a 4,4V y medimos el valor del potenciómetro para sustituirlo por una resistencia de valor fijo. El valor normalizado que escogemos es de 150k $\Omega$ . La señal de salida satura a 4,6V aproximadamente así que no sobrepasaremos la tensión de entrada máxima del NXT de 5V. A 0 lux tendremos una pequeña tensión de entrada producida por la “Dark Current” del fotodiodo.

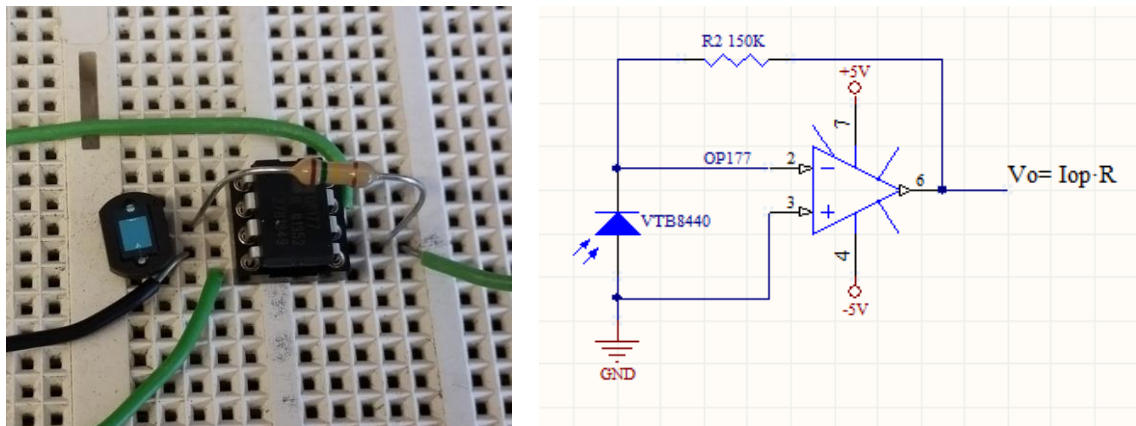


Figura 5-8 Esquemático y montaje en Protoboard fotodiodo+convertor I-V

### 5.3.SENSOR DE PRESIÓN

Para medir la profundidad, se decide junto con el centro SARTI adquirir el sensor LMK307. Que tras el proyecto será utilizado para hacer mediciones en el mar y en la cámara hiperbárica del Centre Tecnològic. Se solicita con 30 metros de cable para su uso futuro.

Es un sensor que viene estanco en una capsula de acero inoxidable, con una buena linealidad y de fácil manejo. La presión medida es absoluta, eso quiere decir que mide con respecto al 0 absoluto que tiene en el interior.

Tiene una señal de salida de 4 a 20mA para medir en el rango de 0 a 5 bares (1 bar $\approx$ 10 metros de agua) de presión, se pueden hacer mediciones hasta 50 metros de profundidad. Se alimenta de 8 a 32V. Como ocurre con el fotodiodo, el LMK307 también se comporta como una fuente de corriente, que se tendrá que convertir en tensión para poder conectarlo al NXT.

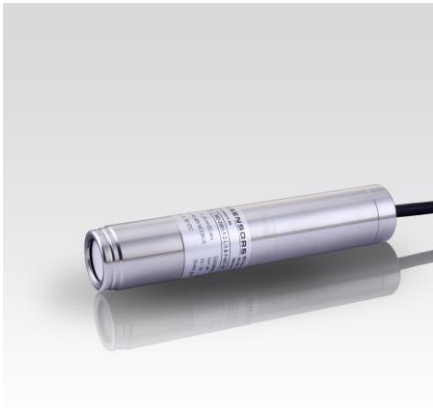


Figura 5-9 Sensor de presión LMK307

El sensor viene dispuesto de la siguiente forma para su conexionado:

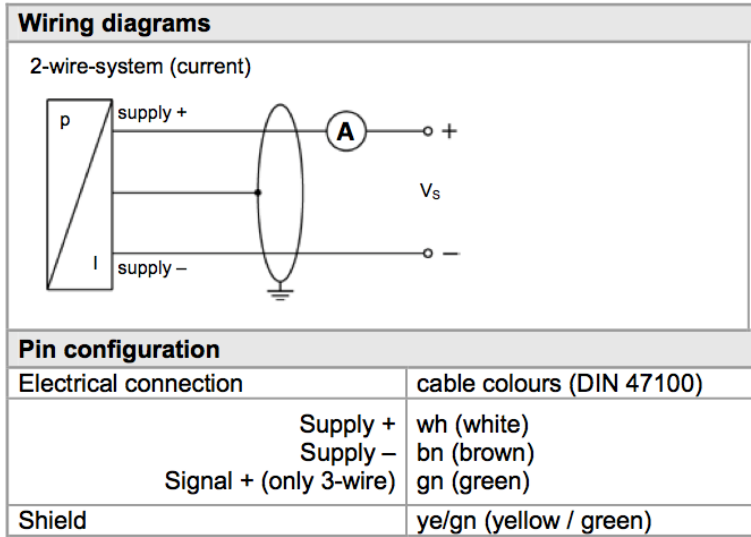


Figura 5-10 Pines y conexionado LMK307

El sensor ofrece una corriente suficiente para no tener que amplificar la señal, así que con una resistencia entre  $V_s$ - (cable marron) y Ground (cable amarillo/verde) se obtiene la tensión que se introduce al NXT.

Para fijar la resistencia hay que tener en cuenta nuevamente que la tensión máxima no exceda de los 5V. Se escoge un valor normalizado de  $220\Omega$  para la resistencia de manera que se tiene 880mV para 0bar y 4,4V para 5bar.

Así pues el sensor responde a la siguiente ecuación:

$$V_o = 0,704 \cdot P + 0,88$$

5.4.ALIMENTACIÓN

En este apartado se habla de las fuentes de alimentación que se utilizan para suministrar a todos los componentes.

DISEÑO Y ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

En la siguiente tabla se muestran las alimentaciones escogidas para los dispositivos requeridos:

Dispositivo	Tensión de alimentación
Sensor de temperatura LM335	+5V
Amplificador operacional OP177	+5V
Sensor de presión	+9V

Tabla 3 Alimentación de dispositivos

Se van a utilizar 2 pilas de +9V que irán dispuestas en serie con las que se puede obtener +9V, -9V y +18V. El sensor de presión ira alimentado directamente de las pilas mientras que para conseguir los +5V se van a utilizar unos reguladores, que se encargan de abastecer al sensor de temperatura y al amplificador operacional.

Para ello se van a utilizar el regulador positivo LM7805 y el regulador negativo LM7905.

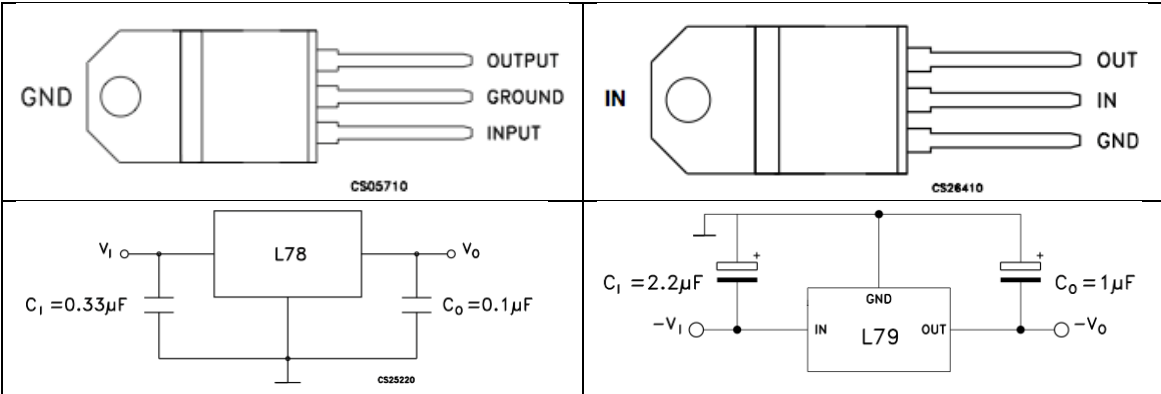


Figura 5-11 Pines y esquemas del LM7805 a la izquierda y del LM7905 a la derecha

Izquierda LM7805 pines y esquema. Derecha LM7905 pines y esquema

Se comprueba el funcionamiento tanto con las fuentes de alimentación del laboratorio como con las pilas obteniendo los siguientes resultados:

	Fuente de alimentación		Pilas	
$V_i$	+9,003V	-9,032V	+9,512V	-9,171V
$V_o$	+4,989V	-5,098V	+4,989V	-5,098V

Tabla 4 Tensiones proporcionadas por los reguladores

A continuación se muestra el circuito montado en Protoboard de los sensores+reguladores:

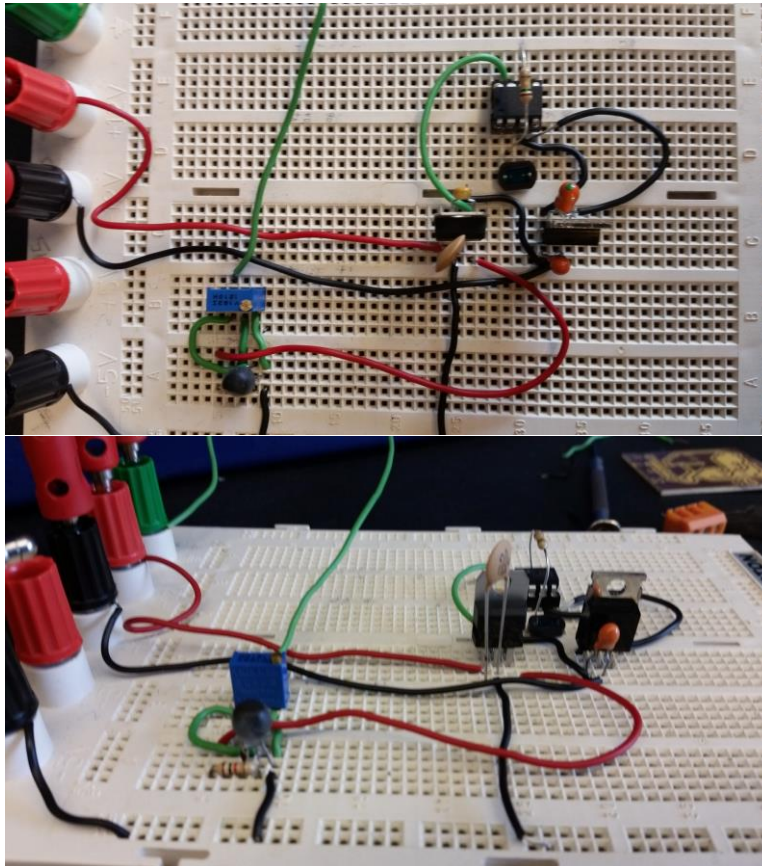


Figura 5-12 Montaje circuito completo en Protoboard



## 6.DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

### 6.1.SOFTWARE DE DISEÑO DE PCB. ALTIUM DESIGNER

Para la creación de las placas PCB<sup>3</sup> se ha utilizado el programa de diseño Altium Designer, en su versión Summer 2008. No se trata de un conjunto de paquetes sueltos vendidos como una suite y conectados mediante archivos externos (netlist), sino de un programa único (dxp.exe) que crea una interfaz y comunica al usuario con los distintos servidores (por ejemplo, editor de texto, editor de esquemas, editor de PCB...). Es muy cómodo trabajar desde un solo programa sin necesidad de ir exportando archivos.

Es interesante que, a la hora de crear el esquemático, encontrar los componentes reales de nuestro circuito en las librerías de componentes de Altium, si no fuese así se podría crear desde el mismo programa o modificar uno existente. Una ventaja de encontrar el componente real es que, normalmente viene con su propio “FootPrint”, que es el patillaje del dispositivo en 2D o 3D, que posteriormente se utilizará para diseñar la PCB y al finalizar el diseño, obtener el negativo de la placa para imprimir el fotolito, donde concluye el diseño con el programa.

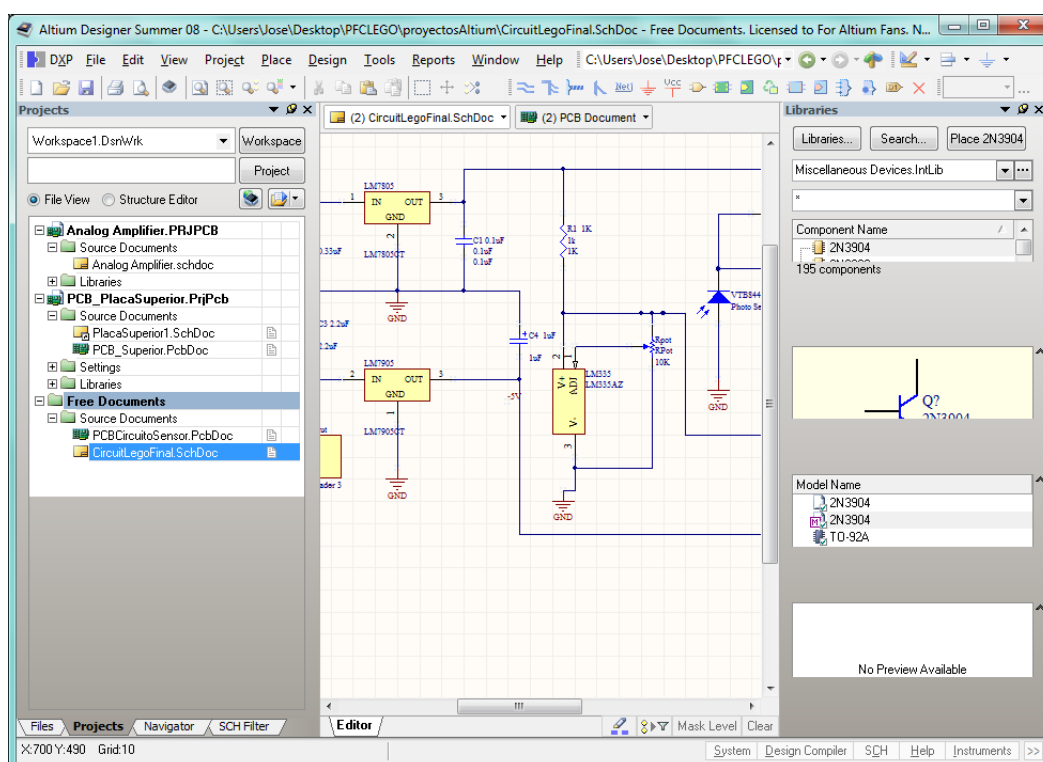


Figura 6-1 Entorno de diseño Altium Designer summer 08

<sup>3</sup> PCB: Printed circuit board



## 6.2. SONDA DE MEDIDA

Se denomina sonda al circuito formado por los sensores de luz y temperatura y demás componentes necesarios para obtener las señales de salida de estos, junto con el sensor de presión, que viene por separado en un encapsulado de acero inoxidable estanco, pero se integrará de tal manera que sea todo un bloque. En los siguientes puntos se hablará exclusivamente del diseño, montaje y calibración del circuito que se ocupa de las mediciones de luz y temperatura.

### 6.2.1. DISEÑO PCB SONDA

A continuación se muestra la disposición de los componentes del circuito esquemático final de la sonda:

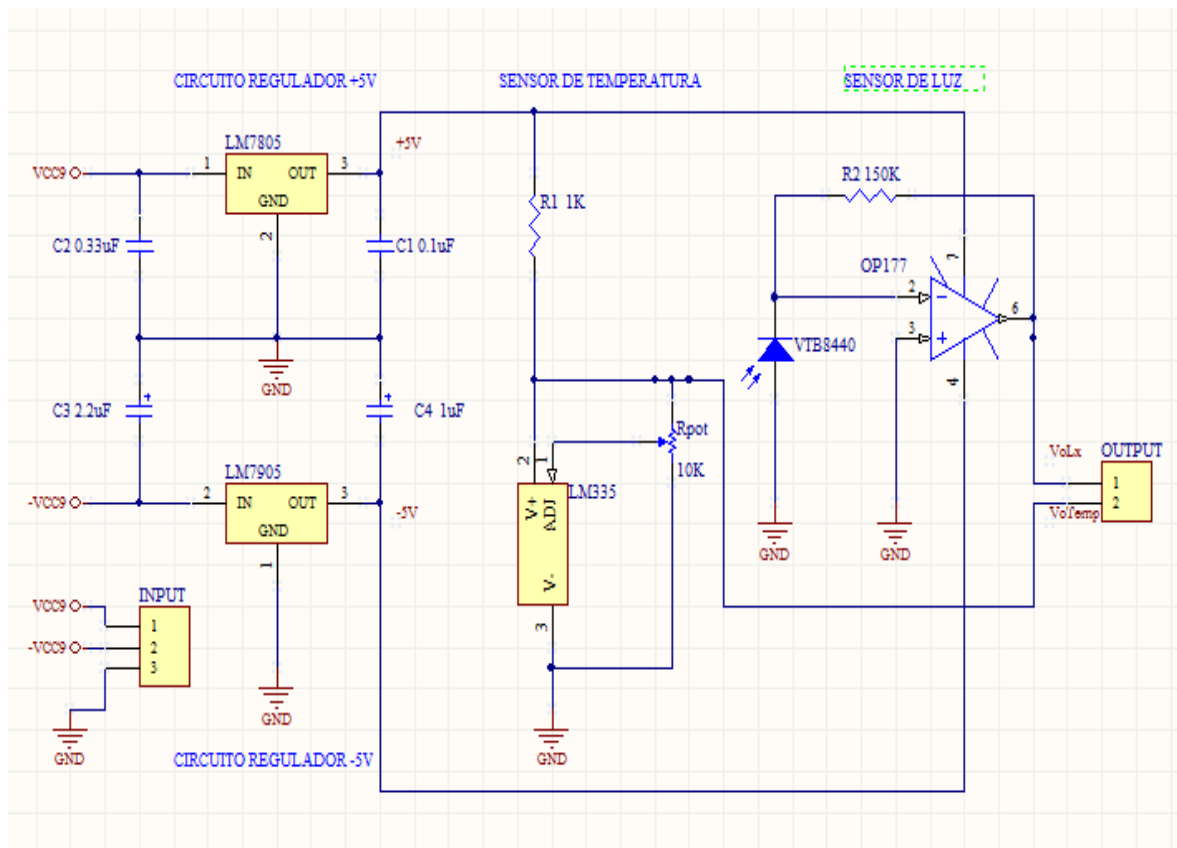


Figura 6-2 Esquemático completo

A parte de los circuitos anteriormente descritos, se puede observar en el esquemático dos conectores, INPUT y OUTPUT, de tres y dos conexiones respectivamente. Con ellos se alimenta el circuito y se obtienen las señales de salida de los sensores.

Una vez terminado el esquemático, se procede a crear el archivo PCB con el mismo software Altium Designer. Para ello hay que tener algunas consideraciones:

- Disponer los componentes de tal forma que ocupen un menor espacio.

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

- Conectar los componentes que vayan directamente unidos lo más junto posible.
- Tanto el sensor de luz como el de temperatura deben ir en la parte superior de la placa para captar las máximas variaciones en sus mediciones.
- Otro requisito ha sido situar los conectores de alimentación y señal en el mismo plano superior que los sensores, para facilitar la conexión del cable con la sonda.

Una vez se exportan los datos del esquemático a PCB, se ha tenido que modificar o crear algún componente, ya que el encontrado en las librerías de Altium, o bien no cumplía con las medidas del Datasheet del dispositivo o no aparecía su diseño en 2D (FootPrint) directamente.

Las pistas se han enrutado manualmente para ser más eficiente, ya que el enrutado automático no tiene en cuenta algunos parámetros de diseño propios de la placa. Para el diseño se ha utilizado sólo una cara de la placa, el plano inferior de color azul (Bottom Layer), excepto un puente que se hará en la cara superior, que se puede ver en la figura 7.3 como una pista de color rojo.

También se ha optado por hacer un plano de masa para mejorar la respuesta del sistema y evitar posibles problemas de ruido. Otra ventaja es que, a la hora de realizar la placa, el ácido tiene menos zonas donde atacar y se ahorra mucho tiempo.

El borde rosa representa el borde de la placa. El tamaño de la PCB es de 5x4.4cm. Se ha buscado hacer de un tamaño reducido sin tener unas medidas concretas, ya que la placa irá dentro de un molde que se buscará a medida de esta. Donde será recubierta de una resina de Epoxy transparente. Más adelante se hablará sobre ello.

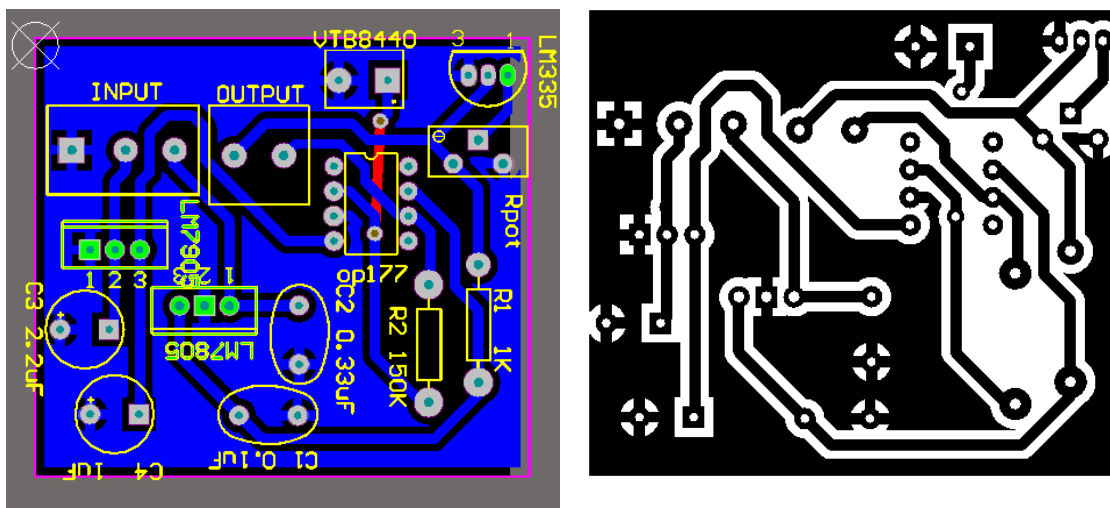


Figura 6-3 PCB sonda diseño cara inferior y fotolito

El siguiente paso para terminar el diseño de la PCB es, obtener el negativo de la placa, es decir, el fotolito.

### 6.2.2. MONTAJE

Para elaborar físicamente las pistas se ha utilizado una PCB de una cara positiva. Se coloca el fotolito, impreso anteriormente, de manera deseada sobre la PCB y se ilumina con luz ultravioleta en una máquina diseñada para este fin. Mediante productos químicos se procede a quitar el cobre que ha sido iluminado con la luz, dejando al descubierto la PCB diseñada con sus pistas.

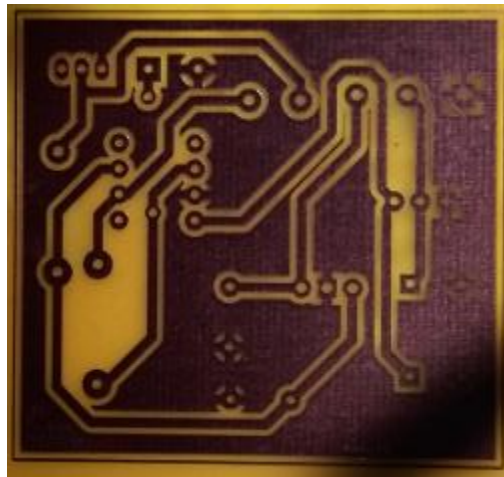


Figura 6-4 PCB sonda lista para taladrar

Se sueldan los componentes en los respectivos lugares en la PCB. La placa de la sonda queda de la siguiente manera:

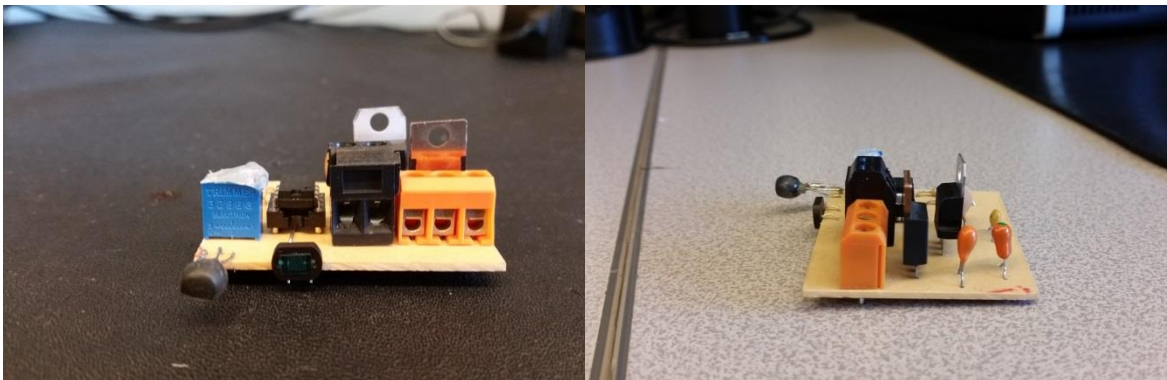


Figura 6-5 Componentes soldados en la PCB

Descripción de los componentes de la PCB de la sonda:

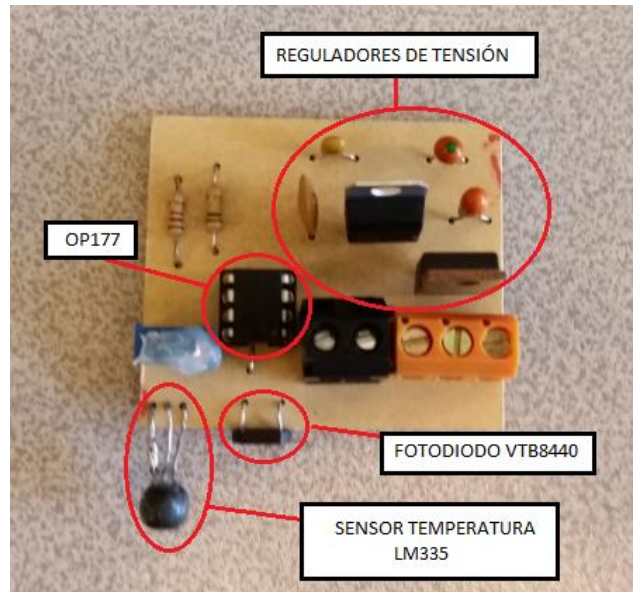


Figura 6-6 Descripción PCB sonda

Para la alimentación y comunicación de la placa con el NXT, se ha utilizado un cable de 4 hilos de 1.45mm y malla, de 6mm de diámetro. Para la elección de este, se ha tenido en cuenta más que la sección de los hilos, el grosor del recubrimiento de PVC de éste, ya que se busca buen aislamiento contra la humedad y el agua.

Los hilos blanco y marrón serán  $\pm 9V$  de alimentación, la malla del cable será la masa (GND), y los cables amarillo y verde serán las señales de salida del sensor de luz y sensor de temperatura, respectivamente.

Para asegurar un completo aislamiento, se ha utilizado tubo termoretráctil en la conexión del cable a la regleta.

### 6.2.3. ENRESINADO

La sonda va a estar sumergida bajo el agua, ya sea marina o dulce, con lo cual debe protegerse de tal manera para que no pueda penetrar en ella. Un punto crítico por donde puede entrar agua al circuito es por el cable de alimentación/señal, por eso se ha decidido rodear la placa con él y evitar una salida directa al exterior.

Una consideración previa al enresinado ha sido dejar el sensor de temperatura fuera del futuro bloque de resina y se ha recubierto con silicona caliente para aislarlo del medio acuático y así tenga mayor sensibilidad.

El siguiente paso ha sido buscar un molde y adecuarlo a nuestro circuito y nuestras necesidades y rellenarlo con una resina EPOXY transparente de dos componentes (resina y secante) para hacer completamente estanca la sonda. Una vez se ha enresinado se procede a realizar unas pruebas de estanqueidad en un tanque de pruebas para comprobar que no penetra agua.

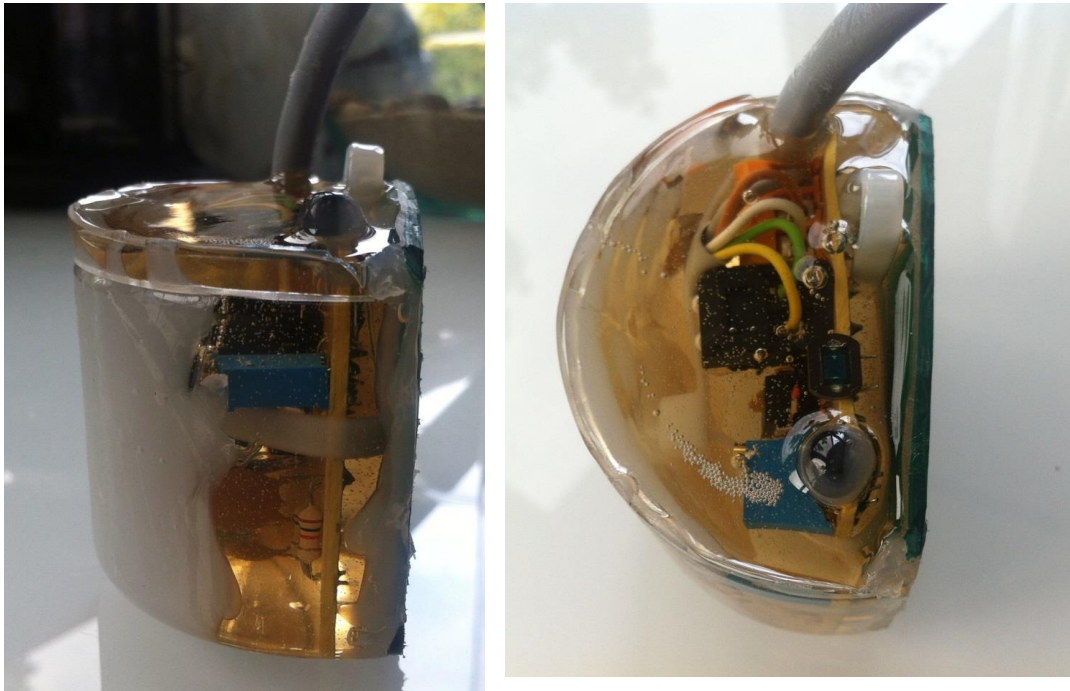


Figura 6-7 Sonda enresinada

### 6.2.4. CALIBRACIÓN Y COMPROBACIÓN

El último paso a realizar es la calibración del sensor de luz y comprobación del funcionamiento del sensor de temperatura una vez están enresinados, ya que la resina puede modificar el comportamiento de estos.

#### 6.2.4.1. CALIBRACIÓN DEL SENSOR

Se han hecho comprobaciones previas al enresinado para ver el correcto funcionamiento del sensor y hallar así el rango de trabajo y comprobar que tenga una respuesta lineal entre voltaje e iluminancia<sup>4</sup>. Para poder observar el comportamiento del sistema del fotodiodo en función de la variación de luz, se ha utilizado el luxómetro Testo545 y un foco regulable en altura y en intensidad de luz. Variando la intensidad luminosa del foco, desde oscuridad total a luz máxima, se ha comparado la tensión de salida del fotodiodo con la cantidad de lux que marca el luxómetro y se ha obtenido una respuesta lineal. Al aumentar el flujo luminoso, va aumentando la tensión.

---

<sup>4</sup> La **iluminancia ( $E$ )** es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida en el S.I es el lux:  $1 \text{ lux} = 1 \frac{\text{Lumen}}{\text{m}^2}$ .



## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA



Figura 6-8 Luxómetro Testo545



Figura 6-9 Pruebas con luxómetro y foco regulable

Una vez se tiene el circuito enresinado, se repiten los pasos anteriores. Se va variando la cantidad de luz que ofrece el foco, de menos luz a más.



Figura 6-10 Pruebas de calibración con resina

Se observa en el osciloscopio que, la señal de salida del sensor de luz tiene componente continua y componente alterna a 100Hz que ofrecen los focos, así que se

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

realiza una tabla con los valores máximos de tensión versus los valores que marca el luxómetro

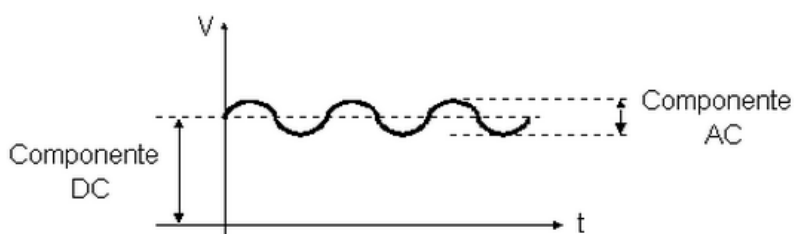
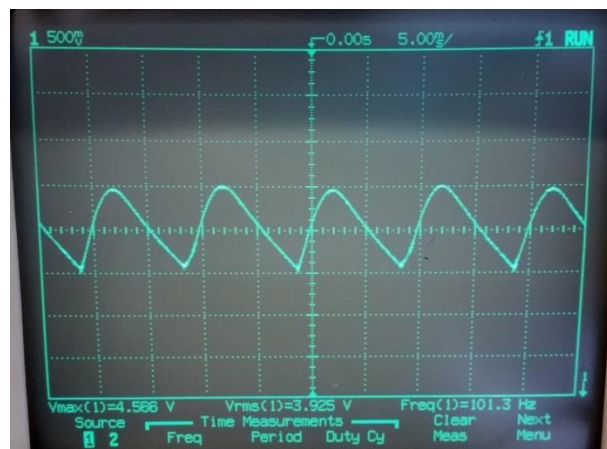
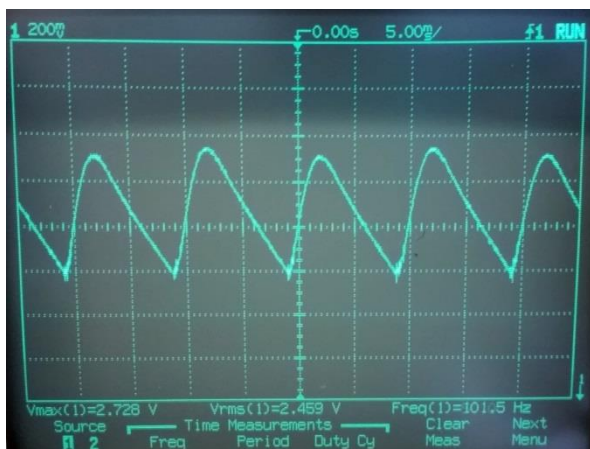


Figura 6-11 Medidas de luz artificial visualizadas en osciloscopio y ejemplo de señal de red eléctrica

A partir de la tabla, se crea una recta con el voltaje de salida en mili-voltios en el eje de ordenadas y en el eje abscisas, la iluminancia en Lux. Donde se hallará la ecuación de la recta, necesaria para la calibración del sensor con luz artificial, que se usará más adelante en el instrumento virtual.

Volux[mV]	LUX
110,5	159
262,5	385
340,9	503
461,2	671
707,4	1035
1375,5	2013
2079,7	3045
2788,7	4083

Tabla 5 Mediciones con luz artificial

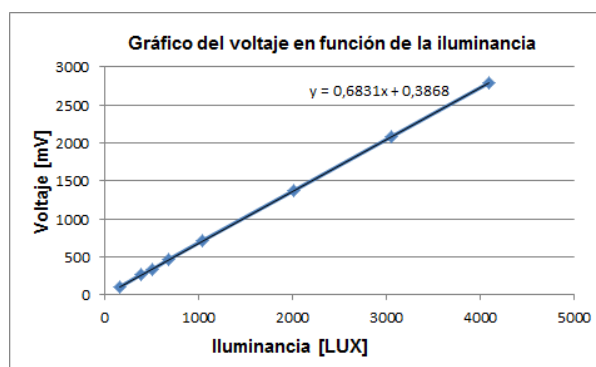


Figura 6-12 Recta resultante luz artificial

La ecuación de la recta resultante de los puntos obtenidos es:

$$V_{out} = 0,6831 \cdot \text{Lux} + 0.3868$$

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

También se hace un estudio sobre el comportamiento que tiene el fotodiodo enresinado cuando la luz es natural. Se observa que la señal sólo tiene componente continua, como era de esperar.

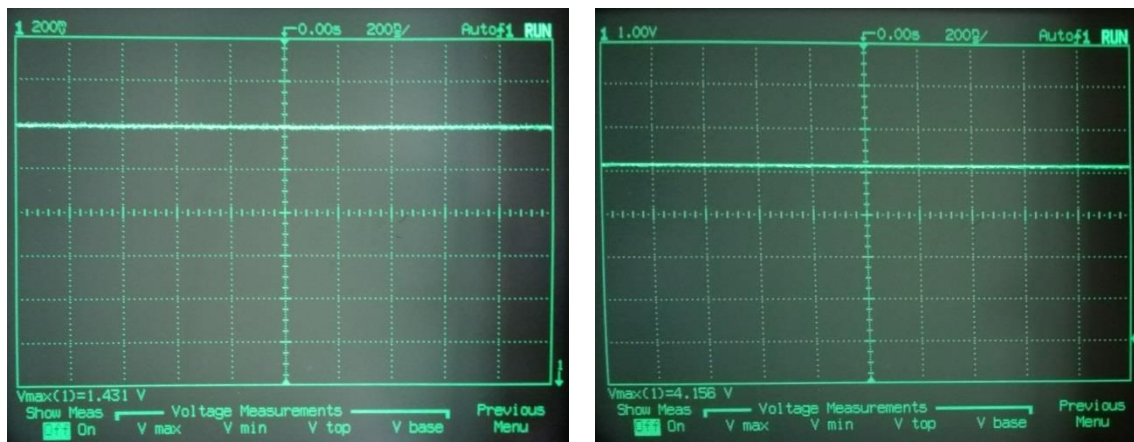


Figura 6-13 Mediciones en osciloscopio con luz solar

Con los datos obtenidos, se forma una tabla con la tensión máxima medida en la salida del sensor de luz frente los lux medidos con el luxómetro en cada momento. Después se trasladan los puntos obtenidos para crear una recta y así hallar la ecuación de calibración con luz solar.

Volux[mV]	LUX
90,62	102
481,3	524
828,1	990
1359	1541
2250	2083
3312	3080
3781	3523

Tabla 6 Mediciones con luz solar

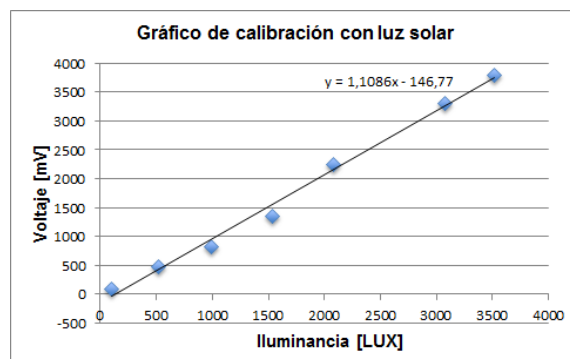


Figura 6-14 Recta resultante con luz solar

Del gráfico anterior se halla la ecuación de la recta  $V_{out} = 1,1086 \cdot \text{Lux} - 146,77$ , a partir de la cual se obtiene la información necesaria para la calibración del sensor con luz natural con el software de programación LabVIEW.

### 6.2.4.2. COMPROBACIÓN SENSOR DE TEMPERATURA

Se comprueba que después del “enresinado”, el sensor de temperatura siga siendo igual de sensible a los cambios de temperatura como lo era anteriormente. Se observa que el tiempo que tarda en alcanzar una temperatura deseada, es prácticamente igual a no estar enresinado.



### 6.3.PLACA DE CONEXIÓN Sonda-NXT

Se decide crear una placa donde estén todos los conectores necesarios para la alimentación de los sensores y la comunicación de los mismos con el bloque Lego NXT. También se aprovecha para conectar la resistencia calculada anteriormente del sensor de presión, entre los pines de entrada analógica y masa (GND) de la roseta, que irá conectada a un puerto del robot.

#### 6.3.1. DISEÑO PCB CONEXIÓN Sonda-NXT

En este apartado se muestra el esquema de circuito creado para facilitar la conexión entre la sonda y el robot NXT.

Se han utilizado tres conectores de regleta para el conexionado de la alimentación a  $\pm 9V$  y masa que proporcionarían las pilas, la alimentación de la sonda y el sensor de presión y para obtener la señal de salida de estos.

La comunicación entre el bloque NXT y la placa se realizará a través de los cables RS-485 proporcionados en el kit, por ello se han necesitado tres conectores tipo RJ12 de 6 hilos, uno para cada sensor. Donde el pin 1 es la masa y el pin 2 es la entrada analógica del convertidor del NXT. Los cuatro pines restantes en este caso no se utilizan.

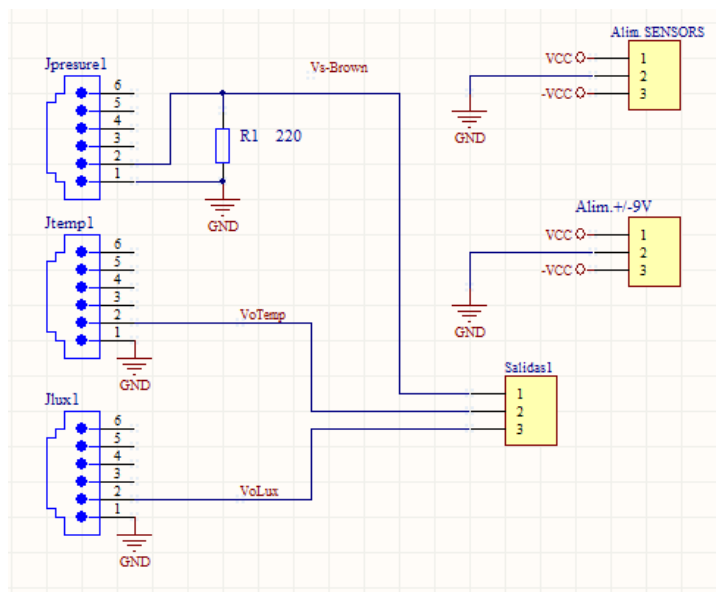


Figura 6-15 Esquemático PCB conexión Sonda-NXT

Para realizar el diseño de la PCB de la conexión al NXT, una vez extraídos los datos del esquemático anterior, se ha tenido muy en cuenta el tamaño de la placa, 6X4.5cm, donde el borde de la placa es la línea pintada de color rosa. Ya que es el espacio libre disponible en el chasis del montaje final del sistema de elevación de la sonda.

La distribución de componentes ha sido pensada para facilitar la conexión de todos los cables, tanto de alimentación como de señal.

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

También se ha optado por hacer un plano de masa para mejorar la respuesta del sistema.

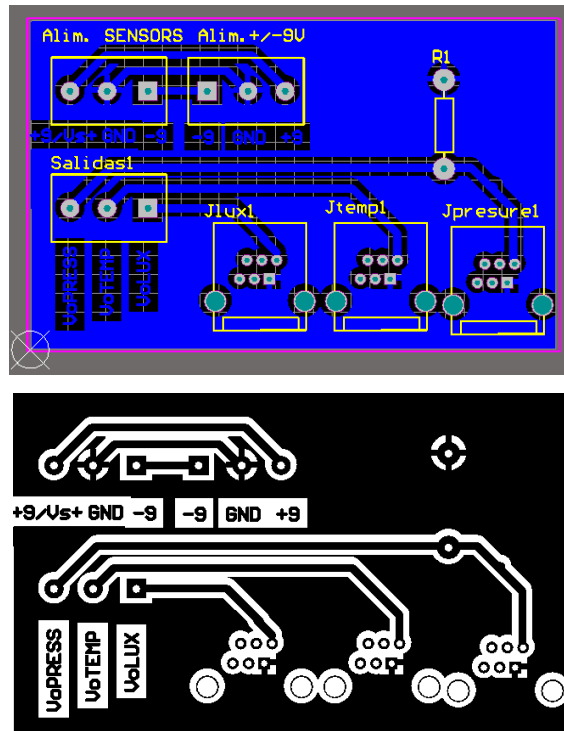


Figura 6-16 Diseño cara inferior y fotolito PCB conexión Sonda-NXT

Para finalizar el diseño, se obtiene el fotolito de la PCB a través del software utilizado y se imprime en papel de acetato transparente.

### 6.3.2. MONTAJE

Para el montaje de esta placa, se ha utilizado una PCB de fibra de vidrio, positiva por una cara. Después del proceso de insolación y revelado, se obtiene lo siguiente:

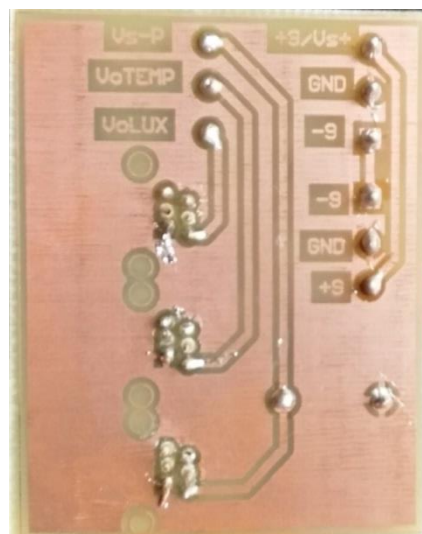


Figura 6-17 Vista cara inferior PCB conexión Sonda-NXT

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

Para la conexión del bloque NXT y la placa, se van a utilizar los cables proporcionados en el kit de LEGO. Hay que tener en cuenta que los conectores son “RJ12 modificados”, por tanto se ha tenido que modificar tres rosetas RJ12 convencionales de teléfono, quitando la parte coloreada de rojo, mostrada en la figura siguiente:



Figura 6-18 Conector hembra RJ12 manipulado

En las siguientes figuras se muestra el circuito con los componentes soldados y se describe su conexión en la PCB:

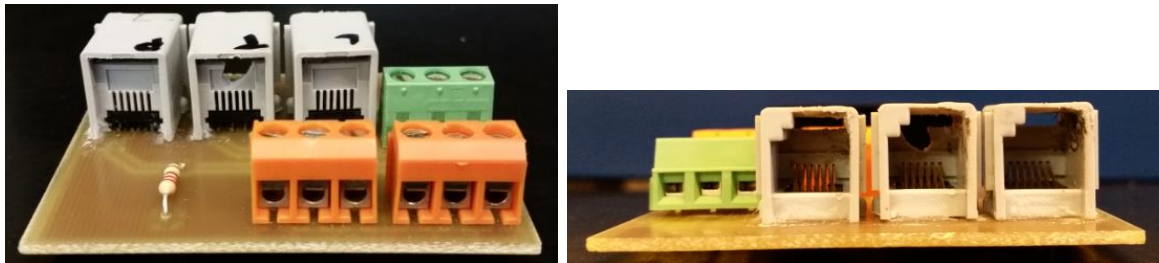


Figura 6-19 Vistas frontal y lateral de PCB conexión NXT

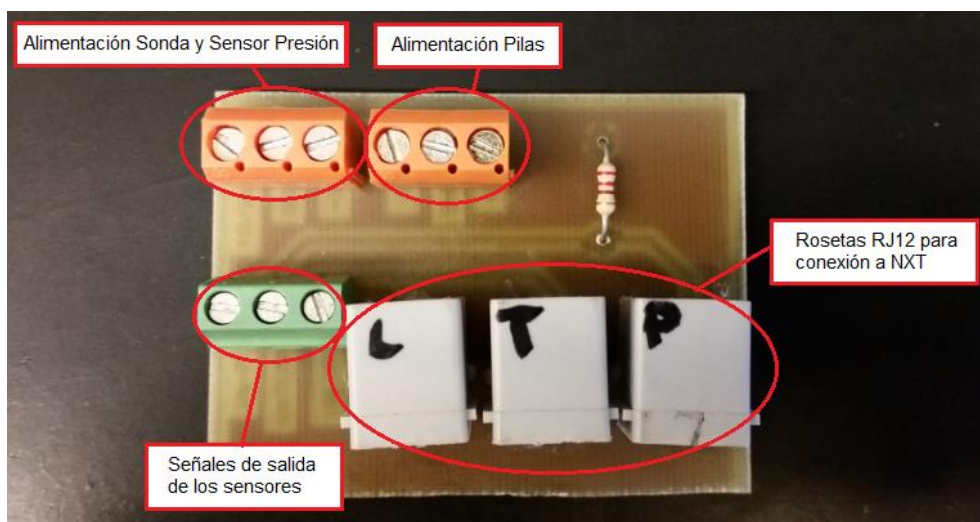


Figura 6-20 Vista superior y descripción de PCB conexión NXT

## 6.4.SISTEMA MECÁNICO DE ELEVACIÓN

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

El robot está montado principalmente con piezas de LEGO suministradas en el kit.

La estructura del robot está basada en un diseño tipo grúa fija. La base está formada por cuatro ruedas en posición horizontal para dar mayor estabilidad. Se ha construido una carcasa para albergar el circuito de conexión entre los sensores y el bloque NXT, sujeta al chasis, para que esté resguardado de posibles salpicaduras de agua. Este chasis soporta el ladrillo NXT.

Para el sistema de elevación y descenso, se han usado dos de los tres servomotores que vienen en el kit, donde se le ha incorporado un carrete con hilo de nylon solidario al eje de los motores. Este hilo va sujeto a la sonda.

El motivo de usar dos motores en lugar de uno, o dos en lugar de tres, es debido al peso total de la sonda, que es de 420gr. También se ha tenido en cuenta el peso aparente que tiene dentro del agua, es de 225gr. Pues un motor no tenía la fuerza suficiente ni para subirlo, ni para bajarlo a una velocidad controlada, así que realizando pruebas con dos, se tiene total control de la sonda.

También se ha instalado el sensor de proximidad cerca del carrete para garantizar un punto de parada una vez esté fuera de la superficie.

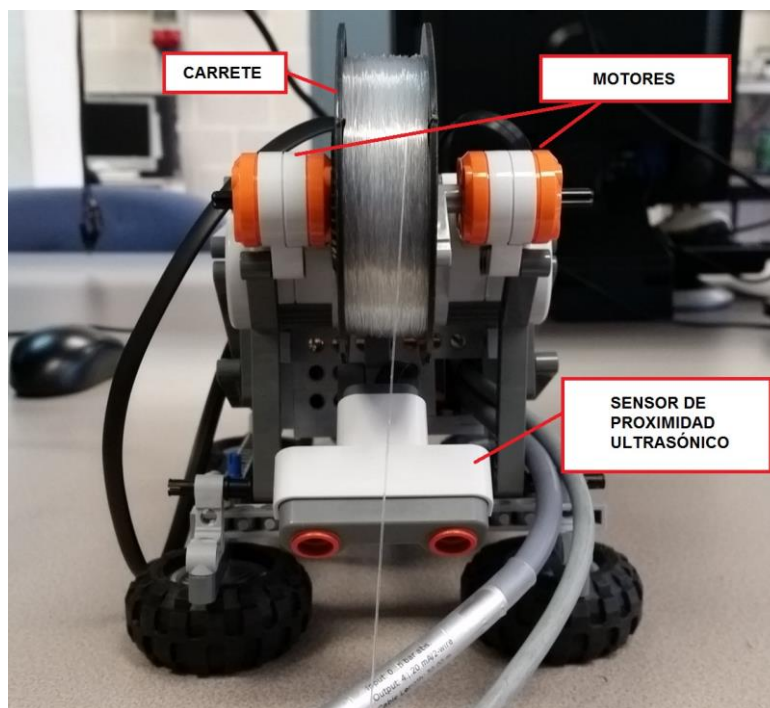


Figura 6-21 Vista frontal del sistema mecánico

## DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

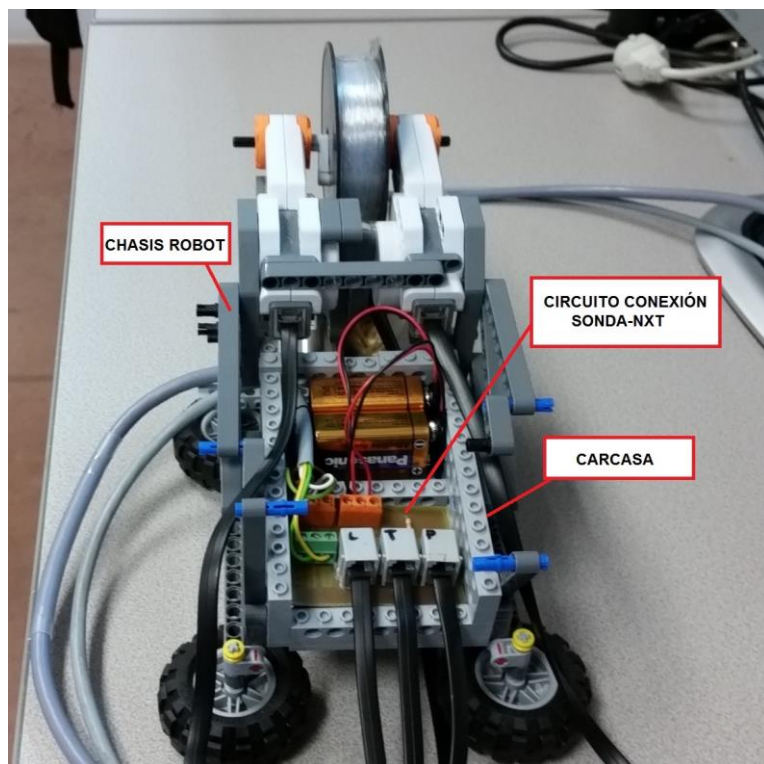


Figura 6-22 Vista trasera sin NXT

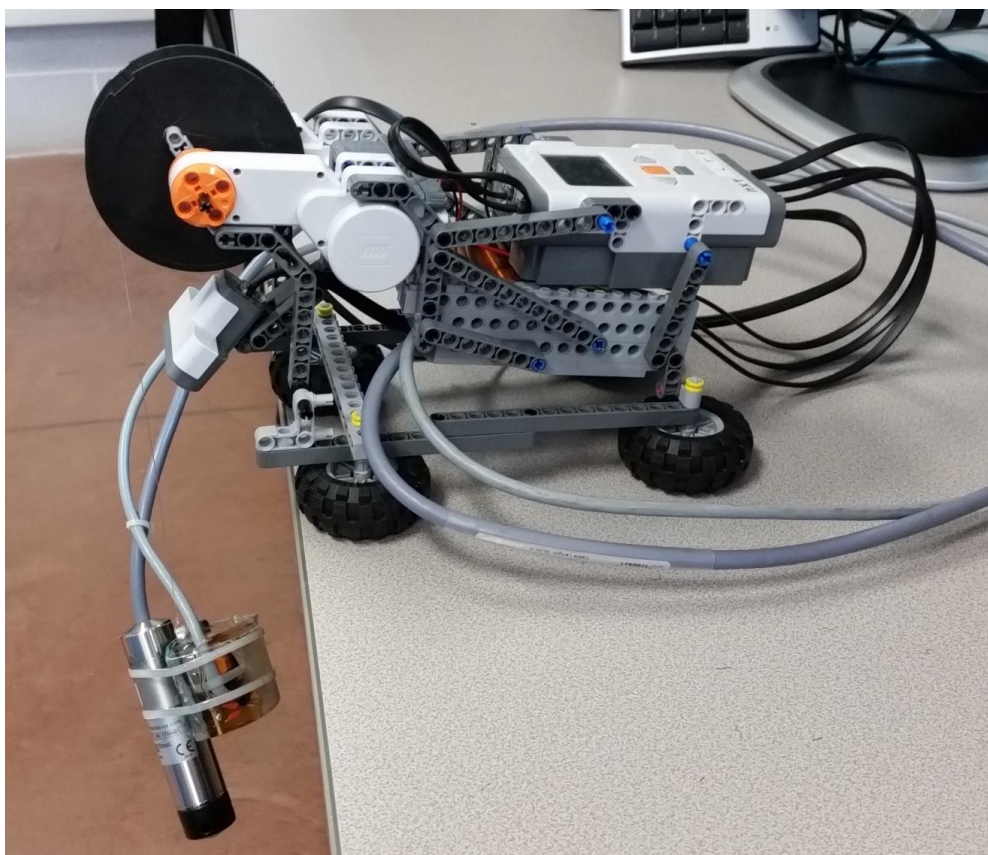


Figura 6-23 Vista lateral del sistema de medición de parámetros de la columna de agua



### 6.5.FABRICACIÓN DE COLUMNA DE AGUA PARA EL ENSAYO

Se decide fabricar una columna de agua de ensayo con un tubo de dos metros de altura por veinte centímetros de diámetro, de PVC. Se le crea una base para que esté sujeta y se pueda trabajar con ella.

El fin de esta columna, es imitar o caracterizar las propiedades de los parámetros a medir en una columna de agua real. Provocando cambios de temperatura en el agua mediante cubitos de hielo o agua caliente. La luz incidente no será igual al inicio de la columna creada que al final y a su vez, pasará lo mismo con la presión de agua.



Figura 6-24 Columna de agua

## 7. INSTRUMENTO VIRTUAL

En este capítulo se muestra la interfaz de adquisición de datos. También se comenta el código con el que se ha desarrollado. La versión de LabVIEW utilizada es la 2012 service pack1 12.0.1(32-bit).

### 7.1. PANEL FRONTAL

El panel frontal es la interfaz del usuario con el sistema de medida, donde se realizan los ensayos.

Para iniciar un ensayo, el usuario introduce los puntos de profundidad donde se desea medir y el tiempo de espera que se desea en cada punto, por último se pulsa el botón "START".

Tras pulsar el botón "START" comienza el proceso de medición automatizado. El robot larga la sonda hasta detenerse en el primer punto de profundidad, toma las medidas de luz y temperatura y las muestra en la tabla y gráficas. Cuando finaliza el ensayo se pueden exportar las mediciones a un archivo Excel pulsando el botón "Exportar datos:". Durante todo el proceso se muestra la posición de la sonda mediante el indicador de profundidad situado en la derecha de la interfaz.

En la parte inferior están situados los controles manuales con los que se puede largar y recoger la sonda de forma manual y leer datos.

En la parte superior derecha se encuentra el botón exit para salir de la ejecución.

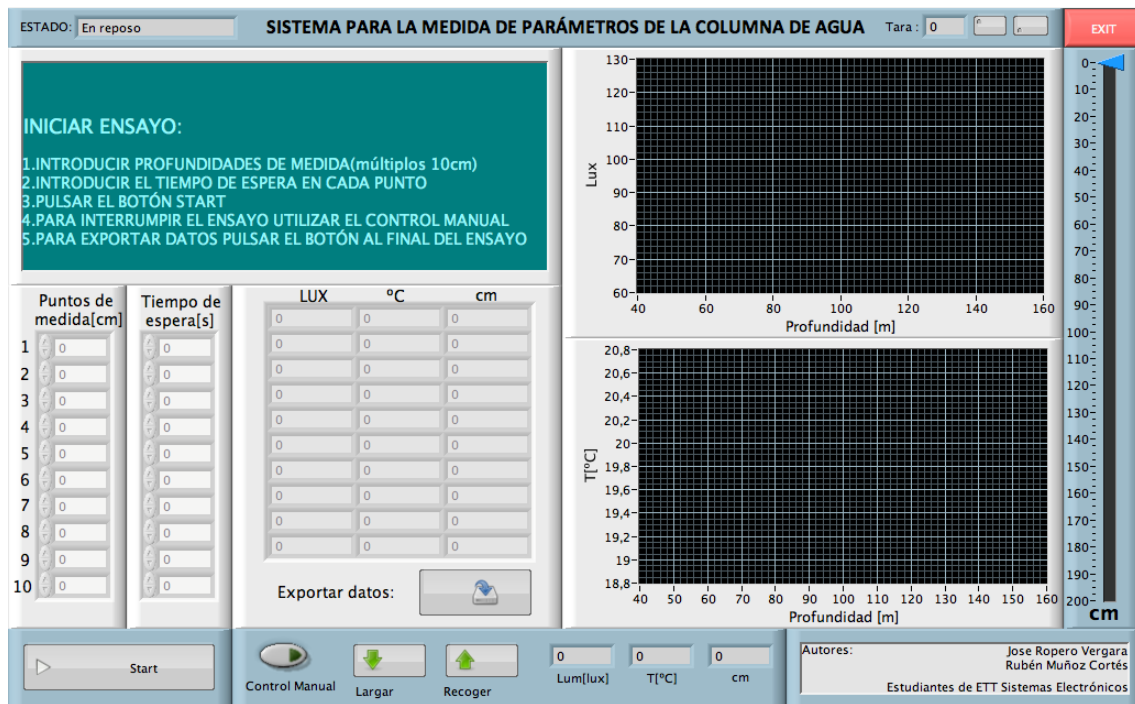


Figura 7-1 Panel Frontal

## 7.2.DIAGRAMA DE BLOQUES

En el diagrama de bloques se conectan todos los controles e indicadores del panel frontal, aquí es donde se hacen las operaciones matemáticas y lógicas para el desarrollo del programa, uniendo los bloques al efecto.

Se realizan varios subprogramas llamados “SubVI” para realizar las funciones concretas de “leer sensor” y “guardar datos en archivo” de forma que se pueden llamar desde el programa principal y utilizarlos en diferentes estados. De esta forma se tiene un programa mas limpio y escalonado donde se puede seguir fácilmente el flujo de los datos.

Para poder leer las magnitudes a partir del numero de bit se convierte a tensión primeramente y luego se utilizan las ecuaciones de calibración de los circuitos diseñados.

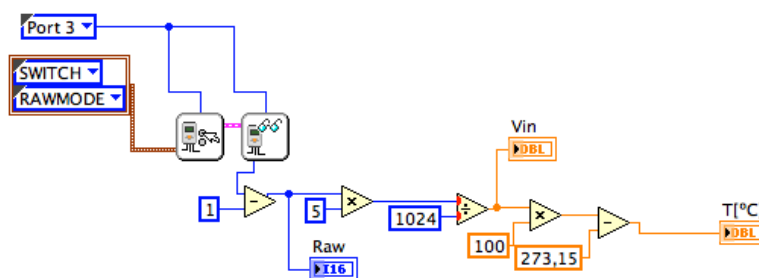


Figura 7-2 Bloque sensor de temperatura



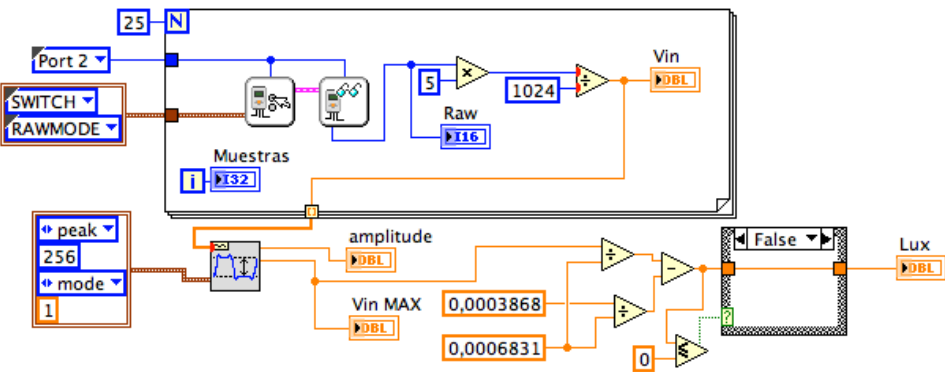


Figura 7-3 Bloque sensor de luz

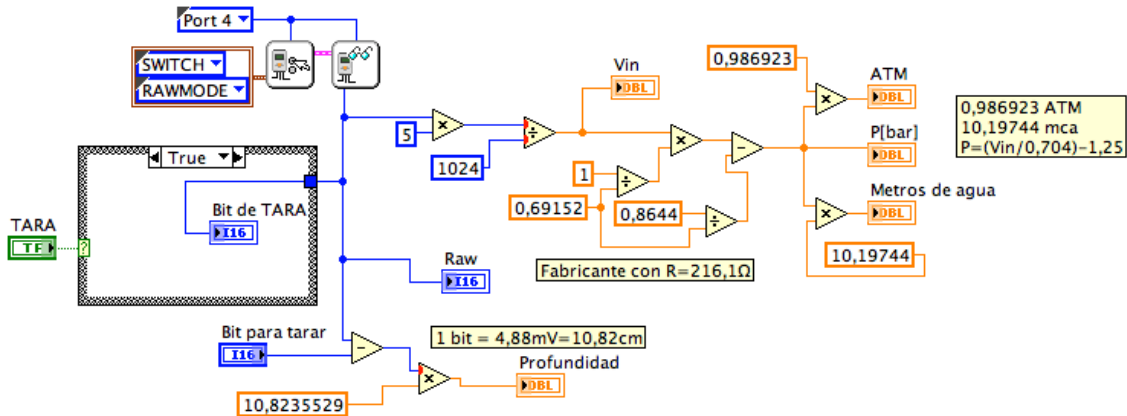


Figura 7-4 Bloque sensor presión

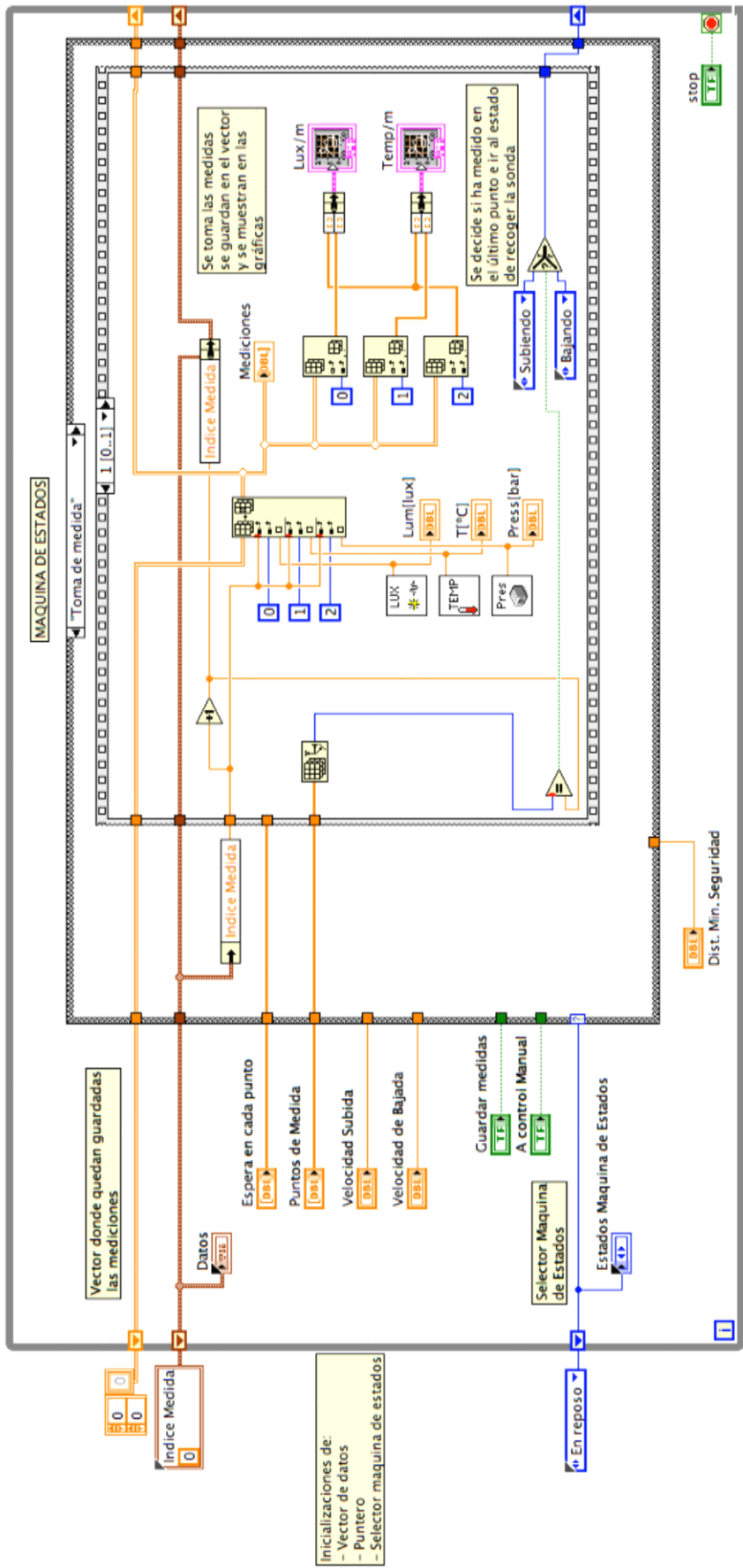


Figura 7-5 Diagrama de bloques

### 7.2.1. MÁQUINA DE ESTADOS

Para estructurar el programa de forma eficaz se plantea como una máquina de estados, de forma que es capaz de cambiar por si solo.

El programa cuenta con 6 estados:

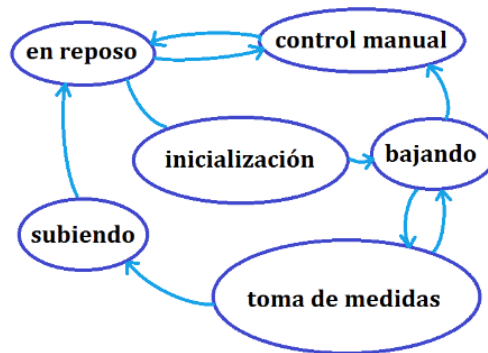


Figura 7-6 Estados

- *En reposo*: es el estado inicial, en el que se está a la espera de iniciar un ensayo o de ir a control manual mediante sus pulsadores en el panel frontal. Al finalizar el ensayo es donde se pueden guardar los datos en Excel.

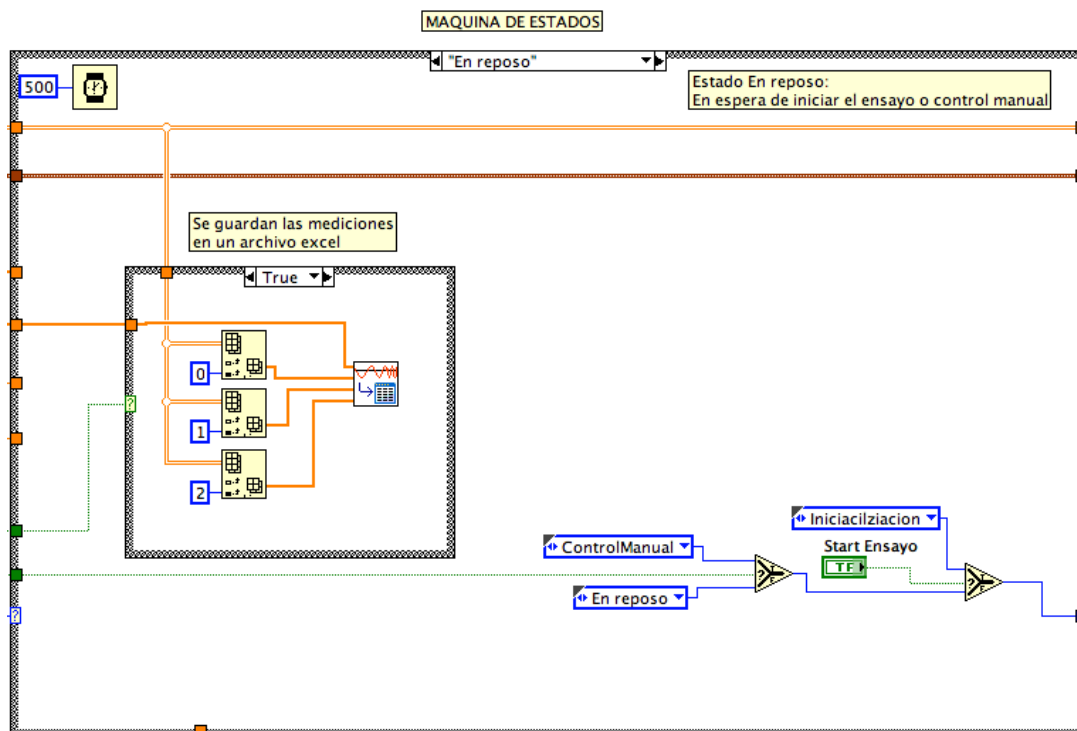


Figura 7-7 Estado "en reposo"

- *Control Manual*: en este estado se tiene el control de los motores para largar y recoger la sonda, la velocidad de los motores también es controlable. Utilizando el sensor de ultrasonidos se programa una parada de seguridad en la recogida de la sonda. Se mantiene en este estado mientras el pulsador Control Manual está en 'true', en caso contrario se pasa al estado "En reposo".

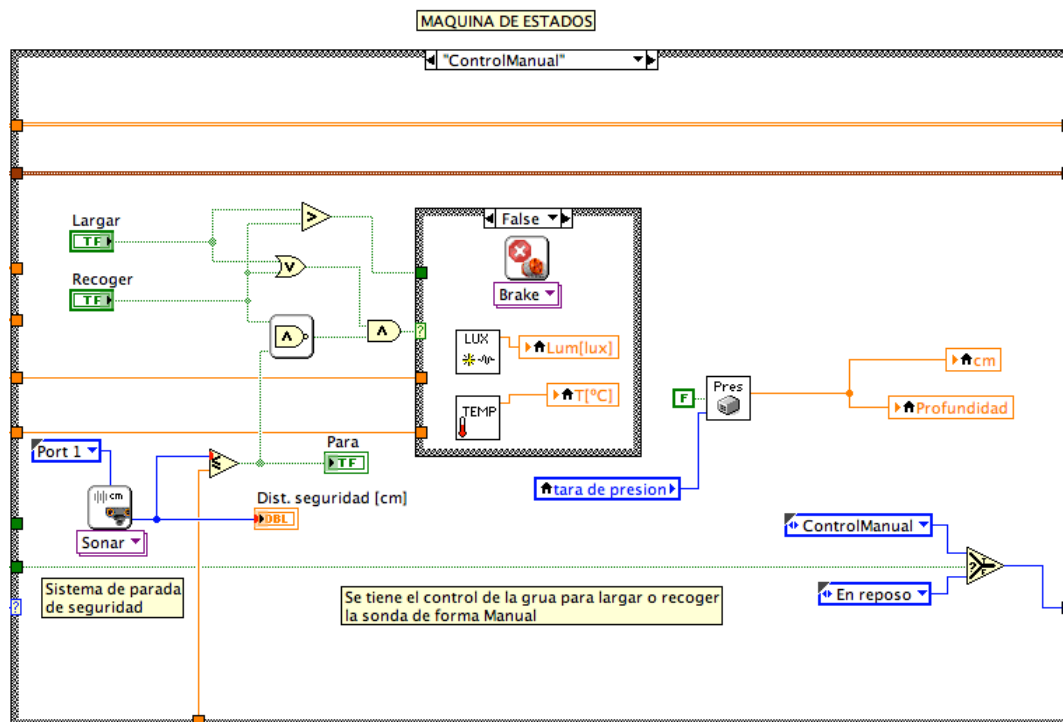


Figura 7-8 Estado "Control Manual"

- *Inicialización*: en este estado se recoge la sonda a la posición de iniciar el ensayo, se borran los datos medidos y las gráficas para iniciar un nuevo ensayo. Una vez ejecutado se pasa al estado "Bajando".

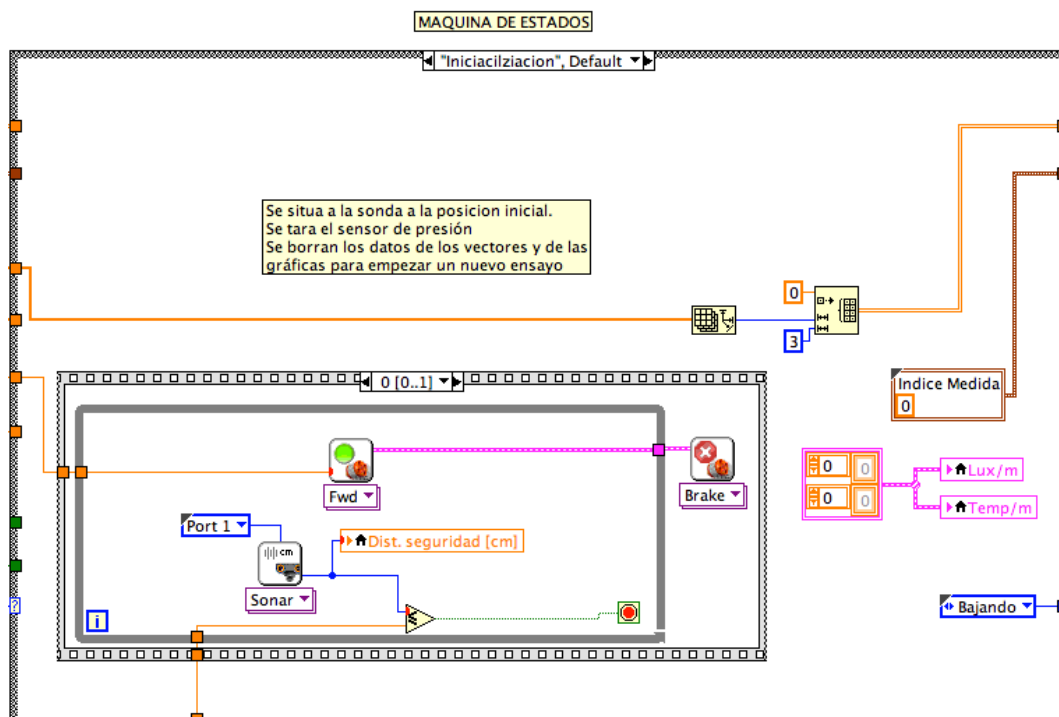


Figura 7-9 Estado "Iniciación"

- *Bajando*: aquí es donde el robot comienza a largar la sonda de forma automática hasta que recibe la orden de parada del sensor de presión, en los

puntos introducidos por el usuario. A continuación se pasa al estado de “Tomar medidas”, se puede interrumpir el ensayo pasando a “Control Manual” mediante su pulsador.

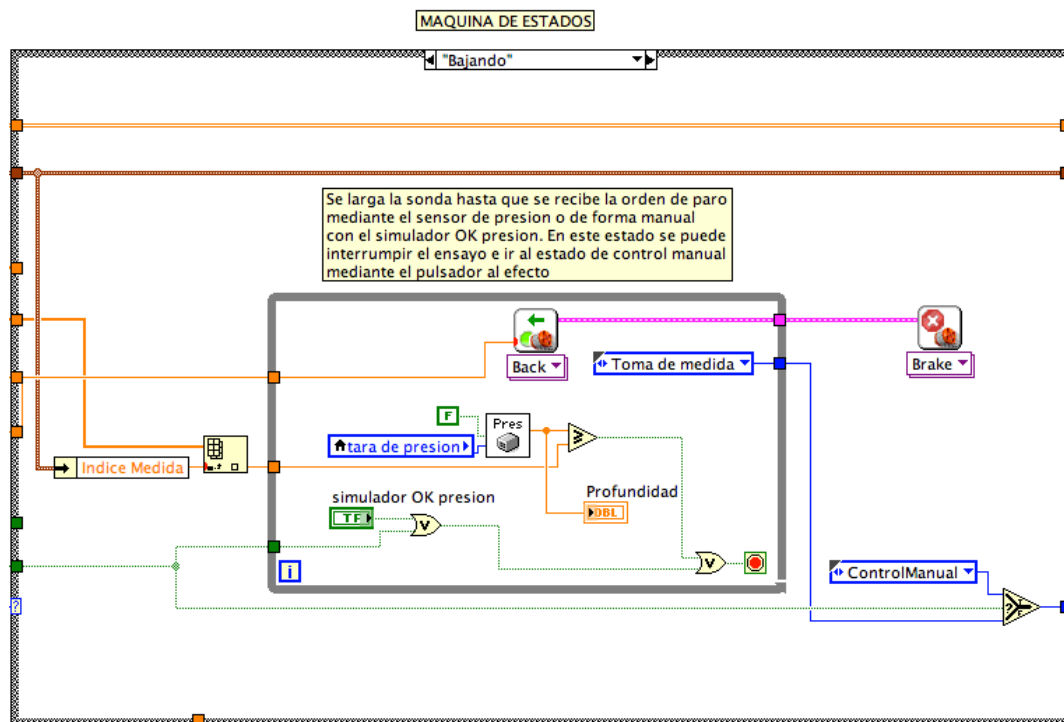


Figura 7-10 Estado "Bajando"

- *Toma de medidas:* en este estado la sonda queda detenida el tiempo establecido por el usuario en cada punto de medida y se toman los datos de los sensores para ser guardados en el vector de mediciones. De este estado pasa a “Bajando” si aun quedan puntos por medir o a “Subiendo” en caso contrario.

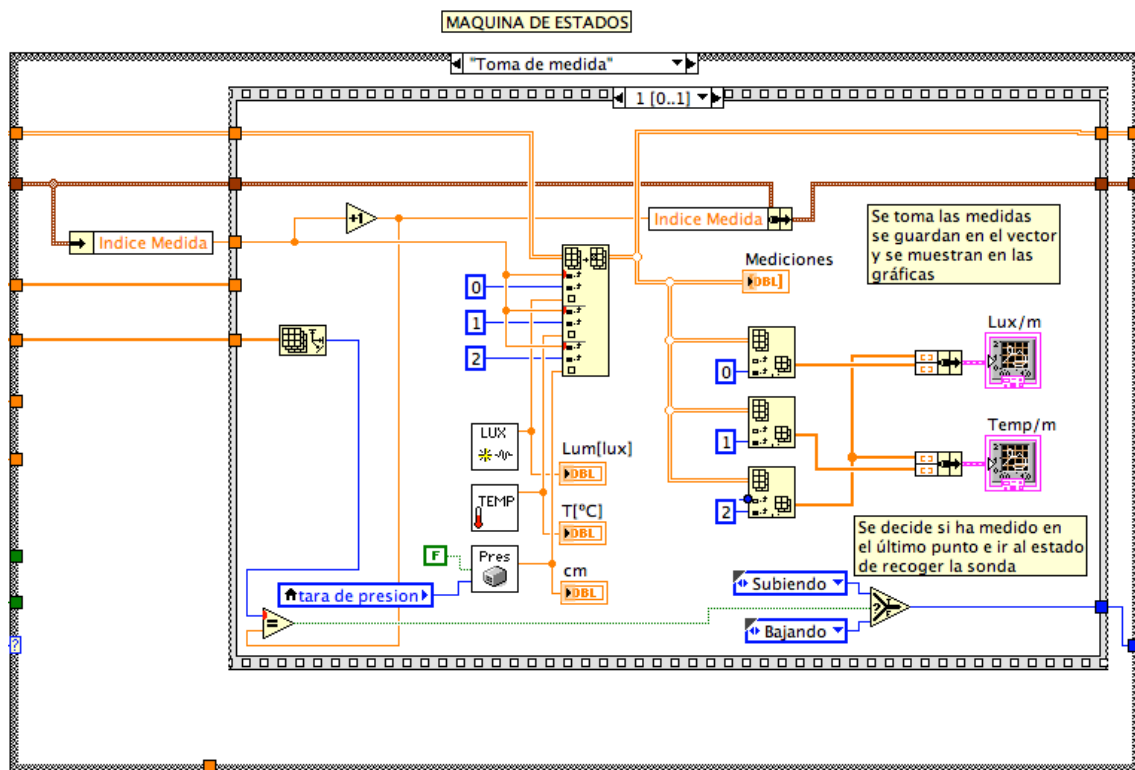


Figura 7-11 Estado "Toma de medidas"

- *Subiendo:* el último estado del ensayo donde ya han finalizado las mediciones, la sonda se recoge hasta el punto de seguridad ordenado por el sensor ultrasónico. Se pasa al estado "En reposo".

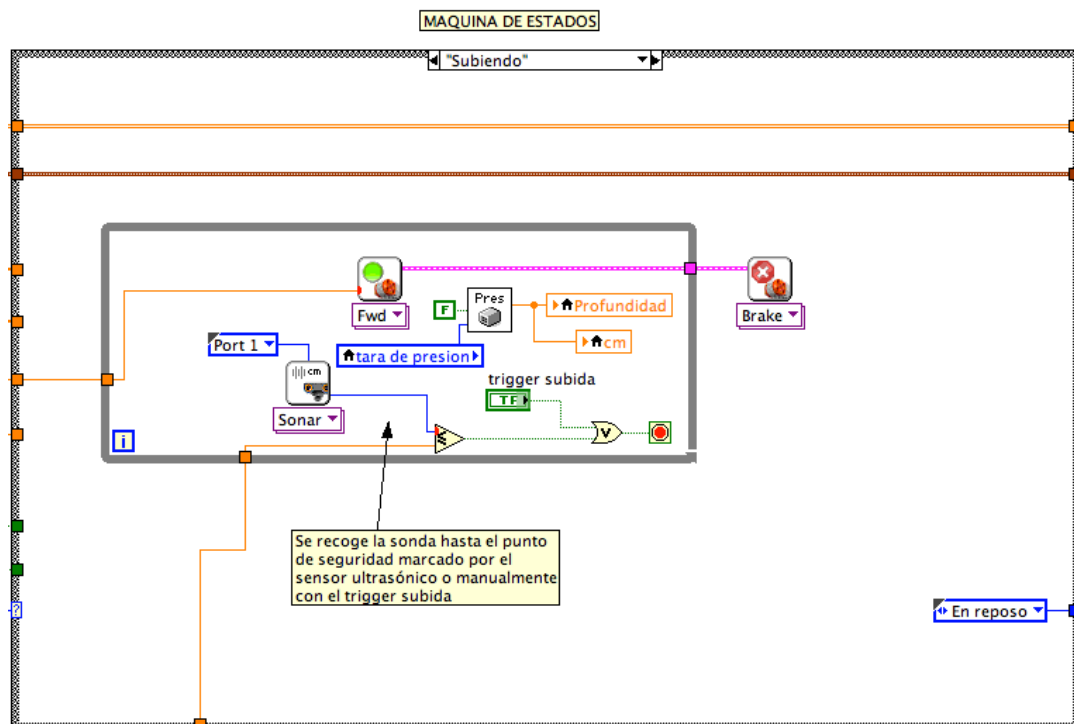


Figura 7-12 Estado "Subiendo"

## 8.RESULTADOS DEL ENSAYO

Se realiza un ensayo en la columna de agua de 2 metros de altura fabricada por los alumnos. Donde se trata donde se imita un escenario para realizar las medidas. La columna se sitúa bajo un foco de luz y se varía la temperatura del agua con hielo y agua caliente.



Figura 8-1 Vistas del ensayo

En este ensayo se realizan ocho medidas cada 20cm de profundidad dentro de la columna de agua con distintos tiempos de espera en cada punto. La figura 15 muestra los resultados del ensayo. De la gráfica superior, que es la de la iluminancia, se observa un descenso de esta, como es de esperar, ya que la sonda se aleja del foco de luz al sumergirse. De la gráfica de temperatura se aprecian los cambios de esta, debido a los contrastes de temperatura causados anteriormente.



RESULTADOS DEL ENSAYO



Figura 8-2 Resultado ensayo

Y este es el archivo Excel generado al final del ensayo:

	A	B	C	D
1	Profundidad deseada	Iluminancia [LUX]	Temperatura [C]	Profundidad [cm]
2	20	439	19,8	32
3	40	162	20,8	43
4	60	136	20,8	65
5	80	113	21,3	87
6	100	109	20,8	97
7	120	104	20,8	119
8	140	104	20,3	130
9	160	91	19,3	152

Figura 8-3 Excel del ensayo



## 9.COSTE DEL SISTEMA

En este apartado se mostrara aproximadamente el coste del sistema de la sonda completa, de la placa de conexión al NTX y de la columna de ensayo. Aunque algunos de los componentes utilizados ya se disponían, se introducirán en el precio total.

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO €
KIT LEGO MINDSTORMS NXT	1	384.95
LMK 307	1	200
VTB8440	1	4.73
LM335	1	0.70
OP177	1	1.34
LM7805	1	0.63
LM7905	1	0.67
Cond. 1uF	1	0.37
Cond. 0.33uF	1	0.05
Cond. 2.2uF	1	0.43
Cond. 0.1uF	1	0.05
Res. 1kOhm	1	0.07
Res.150KOhm	1	0.07
Res.220KOhm	1	0.07
Poten. 10kOhm	1	0.25
Conector de 3 PCB	4	0.90
Conector de 2 PCB	1	0.25
RJ12	3	1.20
Placa PCB 10X15cm	1	4
Cable 4 hilos	5m	5
Resina EPOXY	100gr	2
Tubo PVC	2m	30
Pila 9V	2	3.90
<b>TOTAL</b>		<b>629.85€</b>

## 10. CONCLUSIONES Y VALORACIÓN FINAL

En general, se tiene una valoración positiva del trabajo realizado, al analizar los objetivos y contrastar con el resultado final.

El comportamiento de los sensores es el esperado, teniendo en cuenta por ejemplo, que el sensor de presión LMK307 está preparado para sumergirse hasta 50m y en este caso, las pruebas realizadas han sido en una columna de 2m de altura, pues la resolución que se obtiene es de 10,8cm cada salto de bit. Claro que obtener saltos de 10,8cm en una medición de 50m, pues entra dentro de lo normal.

Algo parecido pasa con el sensor de temperatura, su rango de trabajo es de -45°C a 100°C. Pues la resolución que se obtiene es de 0.49°C por cada salto de bit. Con ello se quiere decir que, con un sensor con un rango por ejemplo, entre 0°C y 40°C, para las mediciones que se van a realizar, es suficiente. Pero al disponer previamente de él, su bajo coste y comprobar que un salto de 0.49°C es más que aceptable, se decide seguir adelante, aunque es un punto que se puede mejorar en proyectos futuros.

La sonda mostrada en este proyecto es una versión mejorada, ya que en la anterior, por desconocer el efecto de la resina, el sensor de temperatura apenas notaba las variaciones tal y como estaba diseñado. Se procede a una nueva fabricación de la placa electrónica donde se sitúa el sensor más alejado de la placa.

Se consigue diseñar un sistema capaz de realizar medidas de temperatura e iluminancia en la columna de agua de forma autónoma, con unos errores de medición aceptables. Falta probar el sistema a gran escala, ya que la sonda está diseñada para ello, y por falta de medios no se ha podido.

El proyecto permite y anima a continuar, tanto añadiendo sensores nuevos, mejorando los existentes y añadiendo nuevas funcionalidades.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1][https://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms\\_NXT\\_2.0](https://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_NXT_2.0)
- [2]<http://legomindstorms.es/>
- [3]<http://www.upc.edu/cdsarti/OBSEA/>
- [4]<http://www.ocean-net.info/instrumentacion/alec/RosetaCTD.htm>
- [5][http://web.vims.edu/bio/shallowwater/methods/water\\_column.html](http://web.vims.edu/bio/shallowwater/methods/water_column.html)
- [6]<http://www.imn.ac.cr/publicaciones/revista/1999/Diciembre/1-Brugnoli-Dic99.pdf>
- [7]<http://www.seabird.com/products/profiling-ctds>
- [8]<http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/viewFile/118/105>
- [9]<http://nxtprograms.com/index.html>
- [10]<http://www.eumed.net/libros-gratis/2013/1237/que-es-lego-mindstorms.html>
- [11]<http://www.dept.aoe.vt.edu/~aborgolt/aoe3054/manual/inst4/index.html>
- [12][https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n\\_atmosf%C3%A9rica](https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica)
- [13]<http://www.nxtorm.es/>